

明 細 書

モニタフォトディテクタ付き光変調器

技術分野

- [0001] 本発明はモニタフォトディテクタ付き光変調器に係り、特に、モニタフォトディテクタの実装を容易にするともに、小型で動作状態が安定なモニタフォトディテクタ付き光変調器に関する。

背景技術

- [0002] 周知のように、光変調器において、リチウムナイオベート(LiNbO_3)のように電界を印加することにより屈折率が変化する、いわゆる電気光学効果を有する基板(以下、リチウムナイオベート基板をLN基板と略す)に光導波路と進行波電極を形成した進行波電極型リチウムナイオベート光変調器(以下、LN光変調器と略す)は、その優れたチャープング特性から2.5Gbit/s、10Gbit/sの大容量光伝送システムに適用されている。
- [0003] このようなLN光変調器は、最近ではさらに40Gbit/sの超大容量光伝送システムにも適用が検討されており、大容量光伝送システムにおけるキーデバイスとして期待されている。
- [0004] 図12は、例えば、特許文献1に開示されている第1の従来技術によるLN光変調器100の構成を示す斜視図である。
- [0005] 図12中、参照符号1はz-カットLN基板、参照符号2はTiを熱拡散して形成したマッハツェンダ型の光導波路であり、参照符号2aは入力光導波路、参照符号2bはY分岐型の分岐光導波路、参照符号2c-1と2c-2は相互作用光導波路、参照符号2dはY分岐型の合波光導波路、参照符号2eは出力光導波路、参照符号2gは出力光導波路の端部である。
- [0006] また、図12中、参照符号3は電気信号源、参照符号4は進行波電極の中心電極、参照符号5aと5bは接地電極、参照符号6aと6bは後述のように光信号がOFF状態の場合に発生する放射光、参照符号7は信号光用単一モード光ファイバ、参照符号8は放射光受光用光ファイバ、参照符号11は、例えば、フォトダイオードからなるモニ

タフォトディテクタ、参照符号9は、モニタフォトディテクタ11からの後述する放射光検出信号に基づいてバイアス電源DCの動作点及びLN光変調器100の動作点を調整するバイアスコントローラを含む放射光検出手段である。

[0007] 図13A, B, Cは、図12に示すように構成されるLN光変調器100の動作原理を説明するために示す図である。

[0008] 図13A, Bは光導波路2の動作説明図であり、図13CはLN光変調器100の側面図を示している。

[0009] 図12と図13A, B, Cを用いて、LN光変調器100の動作について説明する。

[0010] 先ず、入力光導波路2aに入射した光は、分岐光導波路2bにおいて2分割される。

[0011] そして、電気信号源3からの電気信号が進行波電極の中心電極4と、接地電極5a、5bとの間に印加されない場合には、図13Aに示すように、光は相互作用光導波路2c-1、2c-2を同相で伝搬する。

[0012] その後、光は、合波光導波路2dにより合波されて基本モードとして出力光導波路2eを伝搬し、最後に、光は信号光用単一モード光ファイバ7に出射される。

[0013] これをON状態と呼ぶ。なお、合波光導波路2dが出力光導波路2fと接合している箇所を合波点2hと呼ぶ。

[0014] 一方、電気信号源3からの電気信号が進行波電極の中心電極4と、接地電極5a、5bとの間に印加された場合には、図13Bに示すように、光は相互作用光導波路2c-1、2c-2を逆位相で伝搬する。

[0015] その後、光は合波光導波路2dにより合波されて1次の高次モード光が形成される。

[0016] 通常、この1次の高次モード光がカットオフとなるように、出力光導波路2eが設計されている。

[0017] 従って、この1次の高次モード光は出力光導波路2eを伝搬できないために、図13Bに示すように、放射光6a、6bとして基板1の水平方向に0.7度、図13Cに示すように、基板1の深さ方向に0.9度という小さな角度をもって基板1内に放射され、基板1内を広がりながら伝搬される。これをOFF状態と呼ぶ。

[0018] 図14に示す電圧－光出力特性において、図示実線の曲線はある状態でのLN光変調器100の電圧－光出力特性であり、Vbはその際のDCバイアス電圧である。

[0019] この図14に示すように、通常、DCバイアス電圧 V_b は光出力特性の山と底の midpoint に設定される。

[0020] 一方、温度変動など何らかの原因により図14に破線で示すように電圧－光出力特性が変化した場合には、バイアス点を V_b' のように設定変更する必要がある。

[0021] この第1の従来技術では、この放射光を放射光受光用光ファイバ8で受光・伝搬した後、例えば、フォトダイオードからなるモニタフォトディテクタ11に入射させることにより電流に変換している。

[0022] バイアスコントローラを含む放射光検出手段9は、この電流の大きさにより電圧－光出力特性の変化を検知し、バイアス電源DCによるDCバイアス電圧の最適バイアス点を見出している。

特許文献1: 特開平3-145623号公報

[0023] しかしながら、以上のように構成したLN光変調器100においても以下のような問題点がある。

[0024] 放射光は、実際には図13B, Cに示すように、基板1の水平方向に0.7度、深さ方向に0.9度の小さな角度をもって基板1内の下方に出射されるので、放射光受光用光ファイバ8は信号光用単一モード光ファイバ7に非常に近くまた信号光用単一モード光ファイバ7よりもほんの僅かだけ低い位置に配置する必要がある。

[0025] ここで、図15は、信号光用単一モード光ファイバ7側から見た光信号のOFF状態の様子を示している。

[0026] 図13Bにおいて、例えば、出力光導波路2eの光軸方向の長さを4mmとすると、前述のように放射光の水平方向の伝搬角度はわずか0.7度であるから、信号光用単一モード光ファイバ7と放射光6aあるいは放射光6bとの間隔は約 $50\mu\text{m}$ と極めて狭く、信号光用単一モード光ファイバ7と放射光受光用光ファイバ8とを実装することは非常に難しい。

[0027] これを図16A, Bを用いて説明する(例えば、特許文献1の図9参照)。

[0028] 図16A, B中、参照符号7aは信号光用単一モード光ファイバのコア、参照符号8aは放射光受光用光ファイバのコア、参照符号10aはキャピラリー(誘電体からなるキャピラリーで、一般的にはガラス材を用いることが知られているが、セラミックなどその他

の材料でも良い)を示している。

[0029] そして、キャピラリー10aに信号光用単一モード光ファイバ7用とは別に穴を開けて、その穴に放射光受光用光ファイバ8が固定される。

[0030] このようにして、信号光用単一モード光ファイバ7のコア7aには信号光が結合するように、放射光受光用光ファイバ8のコア8aには放射光6b(あるいは、6a)が結合するように、それぞれの位置関係が調整・固定される。

[0031] 以上説明したように、第1の従来技術によるLN光変調器100では、信号光と放射光の間の距離が50 μ m程度と極めて小さいため、信号光用単一モード光ファイバ7のコア7aには信号光を結合させ、かつ放射光受光用光ファイバ8のコア8aには放射光を結合させるという実装が必要となり、その実装は極めて困難であるため、実装が容易な構造のLN光変調器の開発が望まれている。

[0032] 通常、この実装の困難さを回避するためには、信号光と放射光の間の両者の距離を広げることが考えられる。

[0033] ところで、信号光と放射光の間の両者の距離を広げる考えとは別に、放射光を信号光に干渉させることで、干渉パターンを信号光から遠方に形成する技術が開示されている(例えば、特許文献2参照)。

[0034] しかし、この技術においては、放射光と信号光が干渉するということは、つまり信号光が減衰することを意味しており、その結果、信号光の損失増加につながるか、あるいはあくまで干渉であるので、信号光が影響できる範囲にのみ、つまり信号光に比較的近い領域にしか干渉パターンを形成することができないという問題点があり、上記課題の解決には至っていないというのが実情である。

特許文献2: 特開平10-228006号公報

[0035] 以上のように、キャピラリー10aに信号光用単一モード光ファイバ7と放射光受光用光ファイバ8の両方を実装することは極めて困難なことである。

[0036] そこで、放射光受光用光ファイバ8を用いる代わりに、キャピラリー10aを通過した後の放射光をモニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11で受光する場合を考える。

[0037] この場合、z-カットLN基板1とキャピラリー10aの屈折率を各々2.14と1.45とす

ると、放射光はキャピラリー10aの中を $\pm 0.7^\circ \times 2.14 / 1.45 = \pm 1.0^\circ$ の屈折角度で伝搬するので、放射光はキャピラリー10aの中に固定した信号光用単一モード光ファイバ7の極めて近くを伝搬するため、モニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を実装することは事実上困難である。

[0038] 図17は、これらの問題を解決する構造として、第2の従来技術によるLN光変調器100を示している。

[0039] この第2の従来技術によるLN光変調器100では、z-カットLN基板1を伝搬して来た放射光6a、6bをさらに後端が傾斜されているキャピラリー10bの中を放射光6c、6dとして伝搬させる。

[0040] ここで、キャピラリー10bの後端傾斜面に、予め、誘電体多層膜14を堆積しておくことにより、光を全反射させて外部に出し、それをモニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を用いて受光し、電流に変換する。

[0041] ところが、この第2の従来技術によるLN光変調器100には以下のような重大な問題点がある。以下、この問題点について考察する。

[0042] まず、放射光6a、6bが基板端面1aを通過した後、モニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11に達するまでの光路長について考える。

[0043] 放射光6cの場合には、放射光6cは基板端面1aを通過後にキャピラリー10bの中を L_1 の距離だけ伝搬された後、キャピラリー10bの後端傾斜面の誘電体多層膜14において反射され、さらにキャピラリー10bの中を上方に L_2 の距離だけ伝搬される。

[0044] その後、この放射光6cは空気中を L_3 の距離だけ伝搬され、モニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタに達する。

[0045] キャピラリー10dの屈折率を n_c とすると、放射光6cが伝搬される光学的な全光路長 L_{6c} は、 $L_{6c} = n_{c1} L_1 + n_{c2} L_2 + L_3$ となる。

[0046] 一方、放射光6dの場合には、放射光6dは基板端面1aを通過後にキャピラリー10bの中を L_4 の距離だけ伝搬された後、キャピラリー10bの後端傾斜面の誘電体多層膜14において反射され、さらにキャピラリー10bの中を上方に L_5 の距離だけ伝搬される。

[0047] その後、この放射光6dは空気中を L_6 の距離だけ伝搬され、フォトダイオード等のモ

ニタフォトディテクタ11に達する。

[0048] この放射光6dが伝搬される光学的な全光路長 L_{6d} は、 $L_{6d} = n_c L_4 + n_c L_5 + L_6$ となる。

[0049] 一方、放射光6a、6bはキャピラリー10bの中を互いに異なった角度 $\pm 1.0^\circ$ で伝搬され、キャピラリー10bの後端傾斜面の誘電体多層膜14において上方に反射された後、モニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11へ入射するときに、放射光6c、6dは図18に示すように、互いに重なり合い、干渉する。

[0050] ここで、放射光6c、6dの位相が約180度異なっている様子を図19に示す。

[0051] このように放射光6cと6dの位相が互いに180度異なっている場合には、図20Aに示すようにそれらの重なり部にはそのパワーが零となる箇所がある。

[0052] ところが、キャピラリー10bの屈折率 n_c は温度により変化するので、放射光6c、6dがモニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11に入射する際の両光路長 L_{6c} と L_{6d} は温度により変化することになる。

[0053] その結果、放射光6c、6dの位相差は180度とは異なってくるため、放射光6c、6dを重ねた結果、図20Bに示すように、放射光6cと6dの重なり部はどの箇所においても零とはならないことになる。

[0054] 換言すると、図18から図20Bに示したように、放射光6cと6dの重なり部分の光の強度が温度とともに変化してしまうので、LN光変調器100のDCバイアスコントロールに支障が生じることになる。

[0055] また、図16に示した第1の従来技術におけるキャピラリー10aの場合と同様に、この第2の従来技術においてもキャピラリー10bには信号光用単一モード光ファイバ7を実装する必要がある。

[0056] また、いずれのキャピラリー10a、10bでも信号光用単一モード光ファイバ7の実装を容易にするために、キャピラリー10aと10bの後端に信号光用単一モード光ファイバ7の外形よりも大きなガイド用のザグリを入れておくことが望ましい。

[0057] しかるに、いずれのキャピラリー10a、10bでもその中の信号光用単一モード光ファイバ7の近傍を放射光が伝搬するために、キャピラリー10aと10bの後端にそのようなガイド用のザグリを設けることはできない。

[0058] 図21は、これらの問題を解決する構造として、第3の従来技術によるLN光変調器100を示している。

[0059] この第3の従来技術によるLN光変調器100では、放射光6cのみをモニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11により受光するために、図21に示すように、キャピラリー10cを半分切り欠いた形状に加工し、放射光6dがモニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11には入射しないように工夫している。

[0060] なお、キャピラリー10cを半分切り欠いた形状とすることにより信号光用単一モード光ファイバ7の実装のガイドをすることが可能となる。

[0061] しかしながら、この第3の従来技術によるLN光変調器100の構造では、キャピラリー10cを複雑な構造に加工する必要があるとともに、図17に示した第2の従来技術によるLN光変調器100のキャピラリー10bと同じく、キャピラリー10cの後端傾斜面に光を全反射させるための誘電体多層膜15などを堆積する必要があり、光変調器全体としての製作のコストがますます高くなってしまいう問題がある。

[0062] また、この第3の従来技術によるLN光変調器100の構造では、モニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11により受光できる光は、放射光6cのみなので、受光パワーが半減してしまうという問題点もある。

特許文献3:特願2000-101316号公報

発明の開示

[0063] そこで、本発明は、以上のような従来技術による問題点を解消して、モニタフォトディテクタの実装を容易にするともに、小型で動作状態が安定なモニタフォトディテクタ付き光変調器を提供することを目的としている。

[0064] 上記目的を達成するために、本発明の第1の態様によると、

電気光学効果を有する基板(1)と、前記基板の一面側に形成され、光を導波するための光導波路(2)及び前記光導波路に導波される光を変調するための電圧を印加する中心電極(4)及び少なくとも一つの接地電極(5a、5b)とを有し、前記光導波路は、前記光導波路に光を入射するための入力光導波路(2a)と、前記入力光導波路に入射した光を二つに分岐して導波する二つの分岐光導波路(2b、2b)と、前記中心電極と前記少なくとも一つの接地電極との間に前記電圧を印加することにより前

記光の位相を変調するための二つの相互作用光導波路(2c-1、2c-2)と、前記二つの相互作用光導波路を伝搬した前記光を合波する合波光導波路(2d)と、前記光を合波する合波光導波路の合波点(2h)を介して前記合波光導波路に接続されている出力光導波路(2f)とから構成されていて、位相変調された光が前記合波光導波路において合波されて生成される高次モード光が前記出力光導波路をほとんど伝搬せずに前記合波点から前記基板の内部に二つの放射光(6a、6b)として放射される光変調器と、

前記光変調器の前記基板の内部に前記合波点から放射される前記二つの放射光(6a、6b)の少なくとも一方を検出するモニタフォトディテクタ(11)とを具備し、

前記モニタフォトディテクタを実装するためのスペースを確保できるように、前記基板の前記出力光導波路側の基板端部(1a)における前記二つの放射光の少なくとも一方の光軸と前記出力光導波路の端(2g)とが所定距離離れて位置するように、前記出力光導波路が変形して形成されていることを特徴とするモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

- [0065] また、上記目的を達成するために、本発明の第2の態様によると、
前記出力光導波路が、前記基板の長手方向と直交する方向における前記合波点(2h)の位置と前記出力光導波路の端(2g)の位置とが異なって形成されていることを特徴とする第1の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。
- [0066] また、上記目的を達成するために、本発明の第3の態様によると、
前記光導波路がマッハツェンダ型光導波路であることを特徴とする第1の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。
- [0067] また、上記目的を達成するために、本発明の第4の態様によると、
前記モニタフォトディテクタが前記基板端部近傍に設けられていることを特徴とする第1の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。
- [0068] また、上記目的を達成するために、本発明の第5の態様によると、
前記モニタフォトディテクタが空間を介して設けられていることを特徴とする第4の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。
- [0069] また、上記目的を達成するために、本発明の第6の態様によると、

前記基板端部近傍に固定されたミラー(12)をさらに具備し、前記二つの放射光の少なくとも一方が前記基板から出射された後、前記ミラーにより光路を変更されて前記モニタフォトディテクタに入射されるように構成されていることを特徴とする第1の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

[0070] また、上記目的を達成するために、本発明の第7の態様によると、

前記基板端部近傍に固定されたキャピラリー(10d)をさらに具備し、前記前記二つの放射光の少なくとも一方が前記キャピラリーを通過して出射された後、前記モニタフォトディテクタに入射されるように構成されていることを特徴とする第1の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

[0071] また、上記目的を達成するために、本発明の第8の態様によると、

前記合波光導波路(2d)の合波点(2h)から放射された前記二つの放射光(6a、6b)の一方が前記基板端部(1a)に向かって伝搬する間に減衰するように、前記合波点(2h)と前記基板の前記出力光導波路側の基板端部(1a)の間に設けられた光のパワーを減衰させる機構(16)をさらに具備することを特徴とする第1の態様に従うモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

[0072] また、上記目的を達成するために、本発明の第9の態様によると、

前記モニタフォトディテクタがフォトダイオードでなることを特徴とする第1の態様に従う記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

[0073] また、上記目的を達成するために、本発明の第10の態様によると、

前記キャピラリーの前記基板端部側の端面と、前記キャピラリーの前記二つの放射光の一方が出射される側の端面がほぼ平行であることを特徴とする第7の態様に従う記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

[0074] また、上記目的を達成するために、本発明の第11の態様によると、

前記キャピラリーの前記基板端部側の端面と、前記キャピラリーの前記二つの放射光の一方が出射される側の端面の少なくとも一部に互いに平行でない部位があることを特徴とする第7の態様に従う記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器が提供される。

[0075] 以上のような本発明のモニタフォトディテクタ付き光変調器によれば、フォトダイオー

ド等のモニタフォトディテクタを容易に実装するためのスペースを確保することができるように、信号光を出力が伝搬するための出力光導波路を曲げる等して変形させて、出力光導波路の光軸を基板表面方向においてY分岐型の合波光導波路の合波点からLN基板の表面に平行な方向に位置的にずらしており、基板端面部における信号光と放射光との間の距離を大きくしている。

[0076] これにより、本発明のモニタフォトディテクタ付き光変調器では、信号光を効率良く信号光用単一モード光ファイバに結合させつつ、放射光を受光しやすくすることが可能となる。

[0077] また、本発明のモニタフォトディテクタ付き光変調器では、基本的に光の反射を利用することを要求されないので、反射光同士の干渉による光の強度変化はないので、受光電流を安定して得ることができる。

[0078] また、本発明のモニタフォトディテクタ付き光変調器では、二つの放射光の両方を受光電流に変換することも可能であり、この場合には大きな受光電流を得ることができる。

[0079] また、本発明のモニタフォトディテクタ付き光変調器では信号光を伝搬する出力光導波路を位置的にずらすだけで良いので、信号光と放射光の干渉を使用する場合よりも信号光と放射光の距離をより大きくできると共に、さらに、信号光と放射光の干渉を使用しないので信号光の損失が増加するということがほとんどないという利点がある。

図面の簡単な説明

[0080] [図1]図1は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第1の実施形態として適用されるLN光変調器の構成を示す斜視図である。

[図2]図2は、信号光用単一モード光ファイバ7側から見た図1の側面図である。

[図3]図3は、図1の上面図である。

[図4]図4は、第1の実施形態として適用されるLN光変調器において、放射光6e、6fが空間を伝搬した際の放射パターンを示しており、放射光6e、6fの干渉部が存在していないことを説明する図である。

[図5]図5は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第2の実施形態とし

て適用されるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

[図6]図6は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第3の実施形態として適用されるLN光変調器の構成を示す斜視図である。

[図7]図7は、信号光用単一モード光ファイバ7側から見た図6の側面図である。

[図8]図8は、第3の実施形態によるLN光変調器の具体的な構造を説明するために示す要部の上面図である。

[図9]図9は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第4の実施形態として適用されるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

[図10]図10は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第5の実施形態として適用されるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

[図11]図11は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第6の実施形態として適用されるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

[図12]図12は、特許文献1に開示されている第1の従来技術によるLN光変調器の構成を示す斜視図である。

[図13A]図13Aは、図12に示すように構成されるLN光変調器の動作原理を説明するために示す図である。

[図13B]図13Bは、図12に示すように構成されるLN光変調器の動作原理を説明するために示す図である。

[図13C]図13Cは、図12に示すように構成されるLN光変調器の動作原理を説明するために示す図である。

[図14]図14は、図12に示すように構成されるLN光変調器の動作原理を説明するために示すDCバイアス電圧－光出力特性曲線図である。

[図15]図15は、信号光用単一モード光ファイバ7側から見た光信号のOFF状態の様子を示す図である。

[図16A]図16Aは、信号光用単一モード光ファイバ7と放射光受光用光ファイバ8とを実装することが非常に難しいことを説明するために示す図である。

[図16B]図16Bは、信号光用単一モード光ファイバ7と放射光受光用光ファイバ8とを実装することが非常に難しいことを説明するために示す図である。

[図17]図17は、第1の従来技術によるLN光変調器の問題を解決する構造として、第2の従来技術によるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

[図18]図18は、放射光6a、6bがモニタフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11へ入射するときに、互いに、干渉することを説明するために示す図である。

[図19]図19は、放射光6c、6dの位相が約180度異なっている様子を説明するために示す図である。

[図20A]図20Aは、放射光6cと6dの位相が互いに180度異なっている場合に、それらの重なり部にはそのパワーが零となる箇所があること、温度変化の結果、放射光6c、6dの位相差は180度とは異なってくるため、放射光6cと6dの重なり部はどの箇所においても零とはならないことを説明するために示す図である。

[図20B]図20Bは、放射光6cと6dの位相が互いに180度異なっている場合に、それらの重なり部にはそのパワーが零となる箇所があること、温度変化の結果、放射光6c、6dの位相差は180度とは異なってくるため、放射光6cと6dの重なり部はどの箇所においても零とはならないことを説明するために示す図である。

[図21]図21は、第2の従来技術によるLN光変調器の問題を解決する構造として、第3の従来技術によるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

[図22]図22は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第7の実施形態として適用されるLN光変調器の要部の構成を示す上面図である。

発明を実施するための最良の形態

[0081] 以下、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の実施形態について図1乃至図11及び図22を参照して説明する。

[0082] なお、図1乃至図11及び図22において、図12に示した第1の従来技術と同一番号は同一機能部に対応しているため、ここでは同じ番号を持つ機能部の説明を省略する。

[0083] 先ず、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の基本的な構成について述べると、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器は、図1及び図3に示すように、電気光学効果を有する基板1と、前記基板の一面側に形成され、光を導波するための光導波路2及び前記光導波路に導波される光を変調するための電圧を印

加する中心電極4及び少なくとも一つの接地電極5a、5bとを有し、前記光導波路2は、前記光導波路2に光を入射するための入力光導波路2aと、前記入力光導波路2aに入射した光を二つに分岐して導波する二つの分岐光導波路2b、2bと、前記中心電極4と前記少なくとも一つの接地電極5a、5bとの間に前記電圧を印加することにより前記光の位相を変調するための二つの相互作用光導波路2c-1、2c-2と、前記二つの相互作用光導波路2c-1、2c-2を伝搬した前記光を合波する合波光導波路2dと、前記光を合波する合波光導波路2dの合波点2hを介して前記合波光導波路2dに接続されている出力光導波路2fとから構成されていて、位相変調された光が前記合波光導波路2dにおいて合波されて生成される高次モード光が前記出力光導波路2fをほとんど伝搬せずに前記合波点2hから前記基板1の内部に二つの放射光6a、6bとして放射される光変調器200と、前記光変調器200の前記基板1の内部に前記合波点2hから放射される前記二つの放射光6a、6bの少なくとも一方を検出するモニタフォトディテクタ11とを具備し、前記モニタフォトディテクタ11を実装するためのスペースを確保できるように、前記基板1の前記出力光導波路2f側の基板端部1aにおける前記二つの放射光6a、6bの少なくとも一方の光軸と前記出力光導波路2fの端2gとが所定距離離れて位置するように、前記出力光導波路2fが変形して形成されていることを特徴としている。

[0084] (第1実施形態)

図1は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第1の実施形態として適用されるLN光変調器200の構成を示す斜視図である。図2は、図1の側面図として後述する信号光用単一モード光ファイバ7側から見た側面図を示している。図3は、図1の上面図を示している。

[0085] すなわち、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第1の実施形態として適用されるLN光変調器200においては、図12に示した第1の従来技術によるLN光変調器100と同じく放射光6a、6bが基板の水平方向に0.7度、深さ方向に0.9度の角度という小さな角度をもって基板1の内部を伝搬される。

[0086] ここで、本発明の第1の実施形態として適用されるLN光変調器200においては、出力光導波路2fを変形させて、出力光導波路2fの光軸をLN基板1の表面方向に

においてY分岐型の合波光導波路2dの合波点2hからLN基板1の表面に平行な方向に所定量だけ位置的にずらしている。

[0087] つまり、図3に示すように出力光導波路2fの光軸は、一旦真っ直ぐに進んだ後、例えば、略逆S字状に変形された後、再び、真っ直ぐに延びて基板端面1aまで形成されている。

[0088] 基板端面1a部には、信号光用単一モード光ファイバ7が固定されたキャピラリー10dが配置されている。

[0089] このように、出力光導波路2fの光軸を変形することにより、出力光導波路2fの光軸と放射光6a、6bの伝搬方向とが位置的に離れるようになされている。

[0090] これにより、LN光変調器200には、信号光用単一モード光ファイバ7とは独立にフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を容易に実装することが可能となる。

[0091] この第1の実施形態においては、放射光6eはキャピラリー10dを通過している。

[0092] つまり、このLN光変調器200では、キャピラリー10dの後端において放射光を反射をさせる必要はないので、図17や図21に示した第2および第3の従来技術のキャピラリー10b、10cのように後端を傾斜面として誘電体多層膜14のような反射膜も施す必要がない。

[0093] なお、出力光導波路2fは基板端面1aと垂直の関係にある必要はないことは言うまでもない。

[0094] また、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11により受光する放射光6eは信号光用単一モード光ファイバ7から距離的に離れた場所を伝搬するので、キャピラリー10dの後端に信号光用単一モード光ファイバ7を導入するためのガイド用のザグリを設けることが可能となり、キャピラリー10dへの信号光用単一モード光ファイバ7の実装が容易となる。

[0095] これにより、この第1の実施形態によるLN光変調器200においては、キャピラリー10dに反射膜を形成する必要がないと共に、キャピラリー10dに対してガイド用のザグリも設けることができるので、光変調器としての製造コストを低減することが可能となる。

[0096] なお、図3からわかるように、この第1の実施形態の場合では、出力光導波路2fと放

射光6bが上面から見て水平方向に近づいている。

[0097] つまり、本発明の第1の実施形態及び後述する各実施形態による光変調器200においては、出力光導波路2fを水平方向に位置的にずらすことにより、放射光と出力光導波路2fを伝搬する信号光の干渉を避けるために、出力光導波路2fを水平方向に位置的にずらしているのではないことを述べておく。

[0098] さらに、本発明の第1の実施形態によるLN光変調器200では、特許文献2のように放射光6aを信号光に干渉させる手段と比べ、信号光の損失増加がほとんどないと共に、信号光用単一モード光ファイバ7と放射光6aの間の距離は、出力光導波路2fのパターン形成により図2に示したパターンにとらわれず自由に設定することができる。

[0099] なお、本実施形態では、放射光6eのみをモニタフォトダイオード11により受光しており、放射光6fは空間に放射しているが、放射光6fも別のモニタフォトダイオード等によって受光することが可能である。

[0100] 図4は、本発明の第1の実施形態によるLN光変調器200において、放射光6e、6fが空間を伝搬した際の放射パターンを示しており、放射光6e、6fの干渉部が存在していない。

[0101] これは、図3に示すように、放射光6e、6fはマッハツェンダ光導波路2を構成するY分岐型の合波光導波路2dの合波点2hにおいて生成された高次モード光であり、高次モード光、つまり放射モード光6a、6bがその生成時において互いの干渉がないことによっている。

[0102] ところが、第2の従来技術による光変調器100では、図17において説明したように、キャピラリー10bの後端傾斜面における誘電体多層膜14における角度と光路長の異なった反射のために、重なり部が生じ、干渉してしまうことになる。つまり、第2の従来技術による光変調器100では、放射光6eと放射光6fは位相が π だけ異なっているので、干渉しやすいことに注意する必要がある。

[0103] これに対し、この第1の実施形態による光変調器200では、反射を用いず、かつ放射光6eと6fがキャピラリー10dを通過する際の幾何学的な全光路長は互いに等しいので、放射光6eと6fとが干渉することがないという利点がある。

[0104] (第2実施形態)

図5は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第2の実施形態として適用されるLN光変調器200の要部の構成を示す上面図である。

[0105] この第2の実施形態においては、基板端面1a付近の出力光導波路2fが基板端面1aに対して斜めになるように形成されているため、信号光用単一モード光ファイバ7も斜めに固定されているので、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を置くためのスペースが広がる。

[0106] この場合にも、二つの放射光6e、6fがフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11に入射する前に、反射を経験することがなく、またキャピラリー10d内における二つの放射光6e、6fの光学的な位相もほぼ等しいので、図17に示した第2の従来技術と異なり、放射光6e、6f間における干渉も生じない。

[0107] その結果、この第2の実施形態によるモニタフォトディテクタ付き光変調器においては、二つの放射光6e、6fをフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11によって受光するようにしているので、図19に示した一つの放射光6cのみしか受光しない第3の従来技術と比較して、DCバイアスコントロールに使用できる光電流が倍化するという優れた利点がある。

[0108] なお、放射光6e、6fのうち、片方、例えば、放射光6eのみを受光する場合にも、光電流は半減するものの、本発明としての効果を発揮できることは言うまでもない。

[0109] (第3実施形態)

図6は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第3の実施形態として適用されるLN光変調器200の構成を示す斜視図である。図7は、図6の側面図として後述する信号光用単一モード光ファイバ7側から見た側面図を示している。

[0110] この第3の実施形態によるLN光変調器200において、進行波電極の中心電極4と接地電極5a、5b間に電気信号が印加されない場合、相互作用光導波路2c-1、2c-2を伝搬してきた光は合波光導波路2dにおいて合波された後、ON状態の光として出力光導波路2fに出射・伝搬される。

[0111] また、この第3の実施形態によるLN光変調器200において、図12に示した第1の従来技術と同じく放射光6a、6bは、基板の水平方向に0.7度、深さ方向に0.9度の

角度という小さな角度をもって基板1の内部を伝搬する。

[0112] ここで、重要なことは本発明の第3の実施形態によるLN光変調器200においては、出力光導波路2fを変形させて、出力光導波路2fの光軸を基板表面方向においてY分岐型の合波光導波路2dの合波点2hからLN基板1の表面に平行な方向に位置的に大きくずらしている点である。

[0113] そのため、この第3の実施形態によるLN光変調器200においては、LN基板端面1aにおける出力光導波路2gと放射光6a、6bとは、LN基板1の表面に平行な方向にて位置的に離れた位置に形成されている。

[0114] 従って、この第3の実施形態によるLN光変調器200においては、図16に示す第1の従来技術の場合とは異なり、後述する図8の具体例において示すように、キャピラリー10dに固定される信号光用単一モード光ファイバ7から距離的に大きく離れた場所で放射光6a、6bをモニタすることができ、信号光用単一モード光ファイバ7を実装することと、バイアス電圧をコントロールするためのフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を実装することが極めて容易となる。

[0115] 次に、この第3の実施形態によるLN光変調器200の具体的な構造を図8を参照して説明する。

[0116] すなわち、図8に示すように、この第3の実施形態によるLN光変調器200では、出力光導波路2fの光軸は一旦真っ直ぐに進んだ後、曲率半径Rでほぼ逆S字状に大きく変形された後、再び、真っ直ぐに延びて基板端面1aまで形成されている。

[0117] 基板端面1a部には、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11、及び信号光用単一モード光ファイバ7が固定されたキャピラリー10dが配置されている。

[0118] このように、この第3の実施形態によるLN光変調器200では、出力光導波路2fの光軸を大きく変形することにより、出力光導波路2fの光軸と放射光6a、6bの伝搬方向を位置的に大きく離れるようにしている。

[0119] これにより、この第3の実施形態によるLN光変調器200では、信号光用単一モード光ファイバ7とは独立にフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を実装することが可能となる。

[0120] さらに、この第3の実施形態によるLN光変調器200では、特許文献2のように放射

光6aを信号光に干渉させる手段と比べ、信号光の損失増加がほとんどない。

[0121] また、この第3の実施形態によるLN光変調器200では、信号光用単一モード光ファイバ7と放射光6aの間の距離は、出力光導波路2fのパターン形成により図6に示したパターンにとらわれず自由に設定することができる。

[0122] なお、この第3の実施形態の場合には、図7に示すように、出力光導波路2fの光軸と放射光6a、6bの伝搬方向の離れる距離を約500 μ mとしているが、その距離は必要に応じて1mmあるいはそれ以上と大きく設定することができる。

[0123] また、この第3の実施形態では、放射光6aのみをフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11により受光しており、放射光6bは放射光6fとして空間に放射しているが、放射光6fも別のモニタフォトディテクタ等により受光することが可能である。

[0124] なお、図17に示した第2の従来技術において説明したように、放射光6eと放射光6fは位相が π だけ異なっているので干渉しやすいことに注意する必要があるが、本実施形態では反射を用いていないので、放射光6eと6fとが干渉することはないという利点がある。

[0125] (第4実施形態)

図9は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第4の実施形態として適用されるLN光変調器200の要部の構成を示す上面図である。

[0126] この第4の実施形態においては、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11の設置位置が第3の実施形態と異なっている。

[0127] この第3の実施形態では、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11をz-カットLN基板1から信号光用単一モード光ファイバ7の長手方向に離すことにより、放射光6eの伝搬する位置が、より信号光用単一モード光ファイバ7からより離れるので、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を実装することがさらに容易となる。

[0128] (第5実施形態)

図10は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第5の実施形態として適用されるLN光変調器200の要部の構成を示す上面図である。

[0129] この第5の実施形態においては、ミラー部12を有するガラスブロック13をz-カットLN基板1に貼り付けていることにより、放射光6aの光軸を放射光6eの光軸のように曲

げた後、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11で受光するようにしている。

[0130] この第5の実施形態においては、以上のような構造とすることにより、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を信号光用単一モード光ファイバ7とは独立に実装することができ、また任意の場所に実装することができる。

[0131] なお、ガラスブロック13の代わりに光を通過することのできるその他のブロックを用いてもよいことは言うまでもない。

[0132] (第6実施形態)

図11は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第6の実施形態として適用されるLN光変調器200の要部の構成を示す上面図である。

[0133] この第6の実施形態は、合波光導波路2dの合波点2hから放射される二つの放射光6a、6bのうち、一方の放射光6aのみを受光する場合に適用することができる。

[0134] すなわち、この第6の実施形態では、合波光導波路2dの合波点2hから放射された前記二つの放射光6a、6bの一方の放射光6bが前記基板端部1aに向かって伝搬する間に減衰するように、前記合波点2hと前記基板1の前記出力光導波路2d側の基板端部1aの間に設けられた光のパワーを減衰させる機構として、光を吸収する吸収媒質である光吸収用金属16を用いて、放射光6bのパワーをなるべく小さくしている。

[0135] なお、z-カットLN基板1上の光吸収用金属16を形成する箇所を予めエッチングして掘り下げるとともに、その掘り下げた箇所に光吸収用金属16を形成することにより、z-カットLN基板1内を斜め下に放射される二つの放射光6a、6bの一方の放射光6bを大きく吸収することができる。

[0136] 但し、この場合には、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11による受光パワーが半減するので、これまで説明してきた実施形態ほどには有効ではないが、本発明の実施形態としての動作を行うことは可能である。

[0137] また、このように、二つの放射光6a、6bのうち一方の放射光6bを吸収する構成とすることにより、反射光を利用してフォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11を動作させる場合には、放射光6eと6fの干渉を効果的に抑圧できることになる。

[0138] (第7実施形態)

図22は、本発明によるモニタフォトディテクタ付き光変調器の第7の実施形態として適用されるLN光変調器200の要部の構成を示す上面図である。

- [0139] この第7の実施形態では、図3に示した本発明の第1の実施形態において、キャピラリー10dの放射光が出射される側の端面が、LN基板1に形成された基板端面1a側のキャピラリー10dの端面に対して互いに平行でないように傾斜させて形成されている。
- [0140] これにより、放射光6eはキャピラリー10dを出射した後、より大きな角度で屈折されるので、それだけ信号光用単一モード光ファイバ7から遠ざかることになる。
- [0141] 従って、モニタフォトディテクタ11の実装がより容易となる。
- [0142] なお、本実施形態においてLN基板1の基板端面1aを傾斜させると共に、キャピラリー10dの2つの端面を互いにほぼ平行としても良いし、LN基板1の端面基板1aを傾斜させ、かつ本実施形態のように、キャピラリー10dの2つの端面を互いに平行でないようにしても良い。
- [0143] なお、LN基板1の基板端面1aを傾斜させ、さらにはキャピラリー10dの二つの端面を平行でないようにするという考え方は、本発明のその他の実施形態にも適用可能であることは言うまでもない。
- [0144] 以上の説明においては、LN基板としてz-カットLN基板である場合について説明したが、x-カット基板あるいはy-カットLN基板など各種基板を用いても良い。
- [0145] また、キャピラリー10dを介して信号光用単一モード光ファイバ7をz-カットLN基板1の端面に固定する方法について述べたが、その代わりにレンズを用いる光学系でも良い。
- [0146] また、出力光導波路2fをLN基板1の表面に平行な方向にずらす距離を適切に設定すれば、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタ11をキャピラリー10dの後端に直接に設置することも可能である。
- [0147] さらに、z-カットLN基板1の端面は垂直として図示したが、斜めにしても良いことは言うまでもない。
- [0148] また、以上の説明においては、出力光導波路は合波光導波路の合波点から基板の端面に向かって一定の距離真っ直ぐであるとしたが、基板表面に平行な方向に合

波点から直ちに位置ずれさせても良い。

- [0149] さらに、出力光導波路のパターンは必ずしも略逆S字状である必要はないので、直線、円弧など、各種のパターンを用いることができるし、基板表面に平行な方向に位置ずれさせつつ基板端面まで形成してもよい。
- [0150] さらに、放射光6aもしくは6bの一方を伝搬させるための光導波路を設けても良いことは言うまでもない。
- [0151] さらに、信号光用単一モード光ファイバ7から遠ざかる方向に放射光を伝搬させるように、光導波路を曲げることにより、LN変調器の基板端面において信号光用単一モード光ファイバ7と放射光との距離を一層大きくすることが可能となる結果、フォトダイオード等のモニタフォトディテクタの実装をさらに容易とすることができる。
- [0152] さらに、以上の説明においては、電極としてコプレーナウエーブガイド(CPW)型の進行波電極を想定したが、非対称コプレーナストリップ(ACPS)など、他の構造の進行波電極でも良いし、もちろん集中定数型電極でも良い。
- [0153] また、以上の説明においては、基板としてLN基板を想定したが、リチウムタンタレートなどその他の誘電体基板、さらには半導体基板でも良い。
- [0154] したがって、以上のような本発明によれば、従来技術による問題点を解消して、モニタフォトディテクタの実装を容易にするとともに、小型で動作状態が安定なモニタフォトディテクタ付き光変調器を提供することが可能となる。

請求の範囲

- [1] 電気光学効果を有する基板と、前記基板の一面側に形成され、光を導波するための光導波路及び前記光導波路に導波される光を変調するための電圧を印加する中心電極及び少なくとも一つの接地電極とを有し、前記光導波路は、前記光導波路に光を入射するための入力光導波路と、前記入力光導波路に入射した光を二つに分岐して導波する二つの分岐光導波路と、前記中心電極と前記二つの接地電極との間に前記電圧を印加することにより前記光の位相を変調するための二つの相互作用光導波路と、前記二つの相互作用光導波路を伝搬した前記光を合波する合波光導波路と、前記光を合波する合波光導波路の合波点を介して前記合波光導波路に接続されている出力光導波路とから構成されていて、位相変調された光が前記合波光導波路において合波されて生成される高次モード光が前記出力光導波路をほとんど伝搬せずに前記合波点から前記基板の内部に二つの放射光として放射される光変調器と、
- 前記光変調器の前記基板の内部に前記合波点から放射される前記二つの放射光の少なくとも一方を検出するモニタフォトディテクタとを具備し、
- 前記光変調器は前記モニタフォトディテクタを実装するためのスペースを確保できるように、前記基板の前記出力光導波路側の基板端部における前記二つの放射光の少なくとも一方の光軸と前記出力光導波路の端とが所定距離離れて位置するように、前記出力光導波路が変形して形成されていることを特徴とするモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [2] 前記出力光導波路が、前記基板の長手方向と直交する方向における前記合波点の位置と前記出力光導波路の端の位置とが異なって形成されていることを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [3] 前記光導波路がマッハツェンダ型光導波路であることを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [4] 前記モニタフォトディテクタが前記基板端部近傍に設けられていることを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [5] 前記モニタフォトディテクタが空間を介して設けられていることを特徴とする請求項4

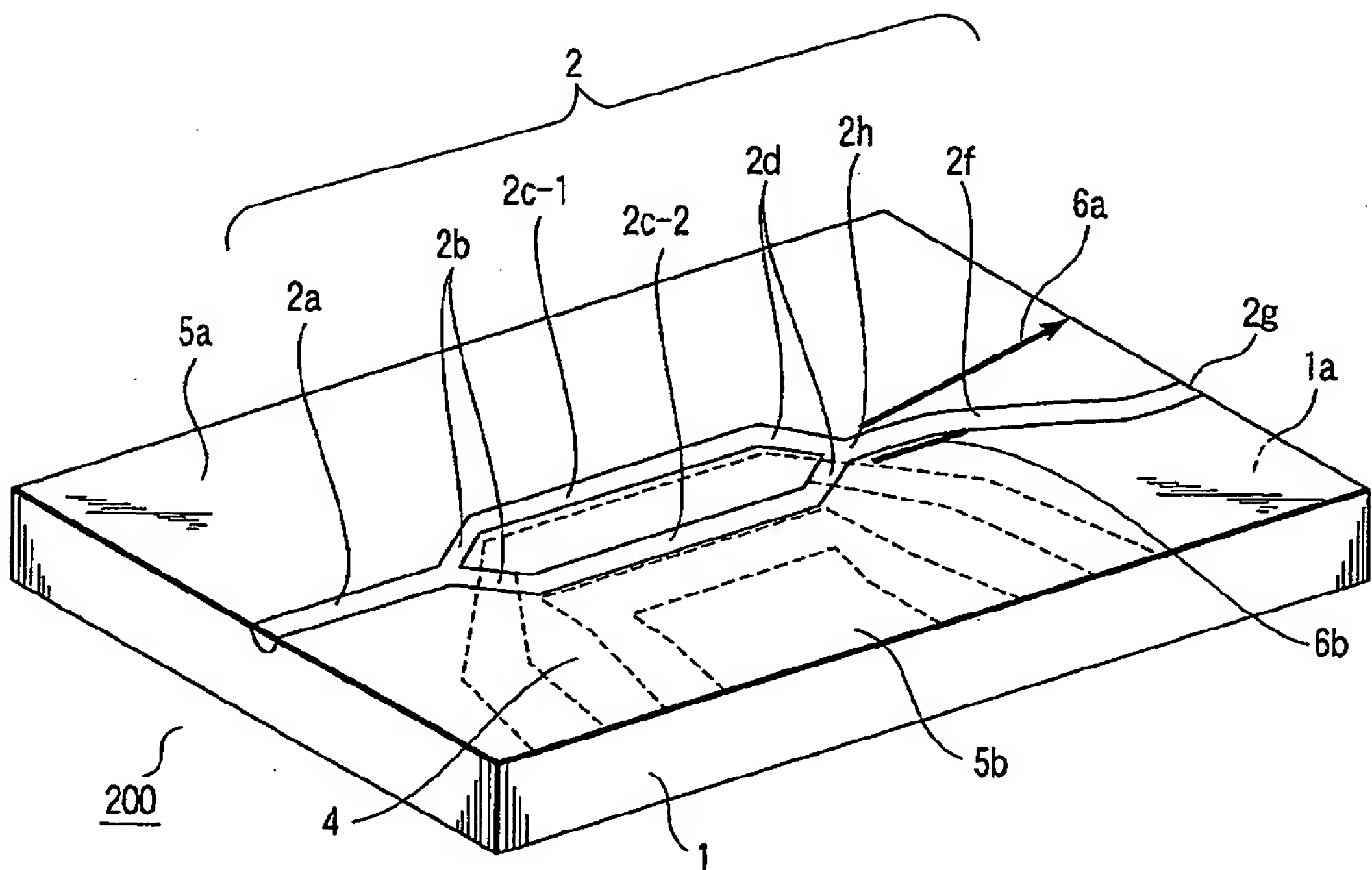
に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。

- [6] 前記基板端部近傍に固定されたミラーをさらに具備し、前記二つの放射光の少なくとも一方が前記基板から出射された後、前記ミラーにより光路を変更されて前記モニタフォトディテクタに入射されるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [7] 前記基板端部近傍に固定されたキャピラリーをさらに具備し、前記前記二つの放射光の少なくとも一方が前記キャピラリーを通過して出射された後、前記モニタフォトディテクタに入射されるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [8] 前記合波光導波路の合波点から放射された前記二つの放射光の一方が前記基板端部に向かって伝搬する間に減衰するように、前記合波点と前記基板の前記出力光導波路側の基板端部の間に設けられた光のパワーを減衰させる機構をさらに具備することを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [9] 前記モニタフォトディテクタがフォトダイオードであることを特徴とする請求項1に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [10] 前記キャピラリーの前記基板端部側の端面と、前記キャピラリーの前記二つの放射光の一方が出射される側の端面がほぼ平行であることを特徴とする請求項7に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。
- [11] 前記キャピラリーの前記基板端部側の端面と、前記キャピラリーの前記二つの放射光の一方が出射される側の端面の少なくとも一部に互いに平行でない部位があることを特徴とする請求項7に記載のモニタフォトディテクタ付き光変調器。

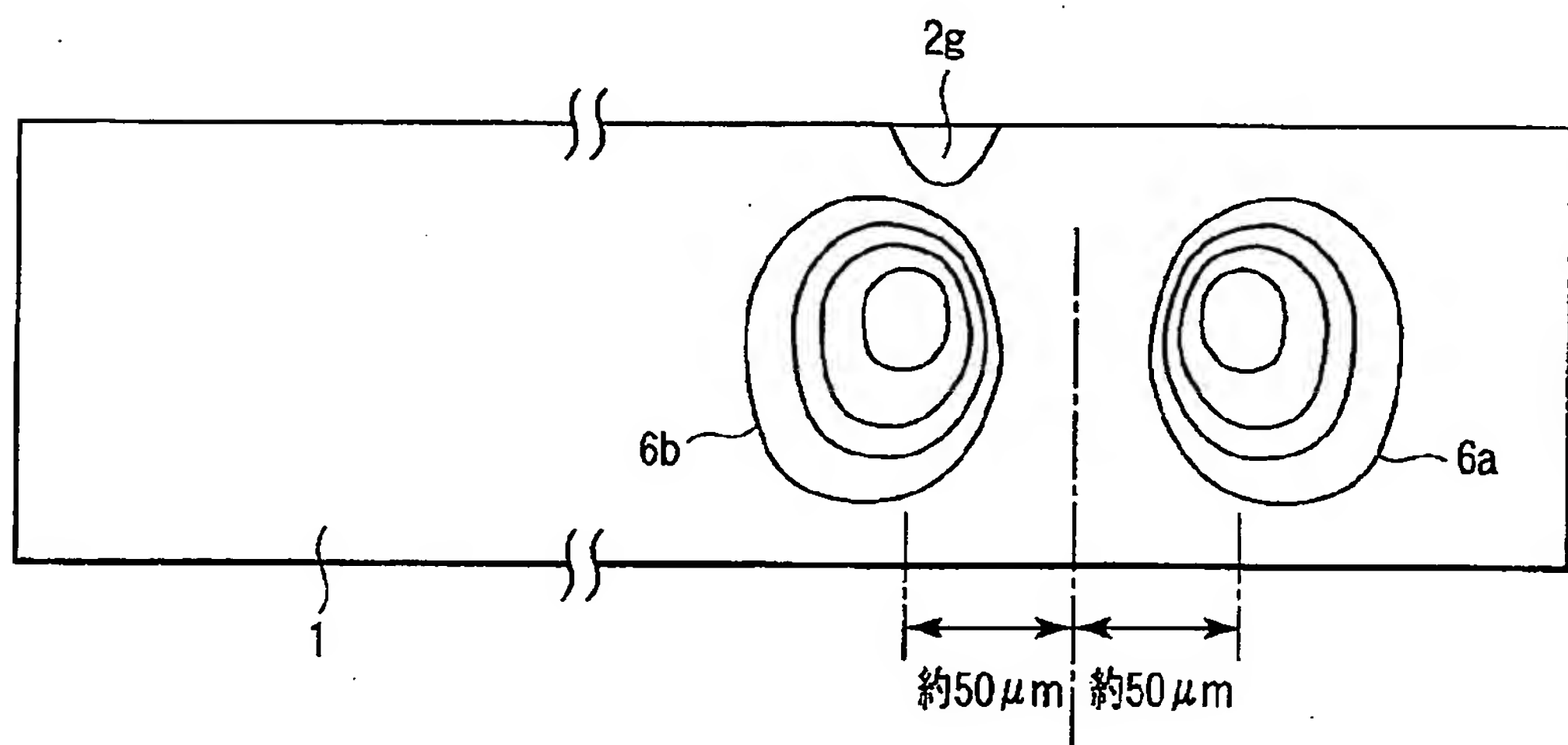
要 約 書

光変調器は、電気光学効果を有する基板と、前記基板の一面側に形成され、光を導波するための光導波路及び前記光導波路に導波される光を変調するための電圧を印加する中心電極(4)及び少なくとも一つの接地電極とを有する。前記光導波路は、前記光導波路に光を入射するための入力光導波路と、前記入力光導波路に入射した光を二つに分岐して導波する二つの分岐光導波路と、前記中心電極と前記少なくとも一つの接地電極との間に前記電圧を印加することにより前記光の位相を変調するための二つの相互作用光導波路と、前記二つの相互作用光導波路を伝搬した前記光を合波する合波光導波路と、前記光を合波する合波光導波路の合波点を介して前記合波光導波路に接続されている出力光導波路とから構成されている。前記光変調器では、位相変調された光が前記合波光導波路において合波されて生成される高次モードが前記出力光導波路をほとんど伝搬せずに前記合波点から前記基板の内部に二つの放射光として放射される。モニタフォトディテクタは、前記光変調器の前記基板の内部に前記合波点から放射される前記二つの放射光の少なくとも一方を検出する。前記光変調器は、前記モニタフォトディテクタを実装するためのスペースを確保できるように、前記基板の前記出力光導波路側の基板端部における前記二つの放射光の少なくとも一方の光軸と前記出力光導波路の端とが所定距離離れて位置するように、前記出力光導波路が変形して形成されている。

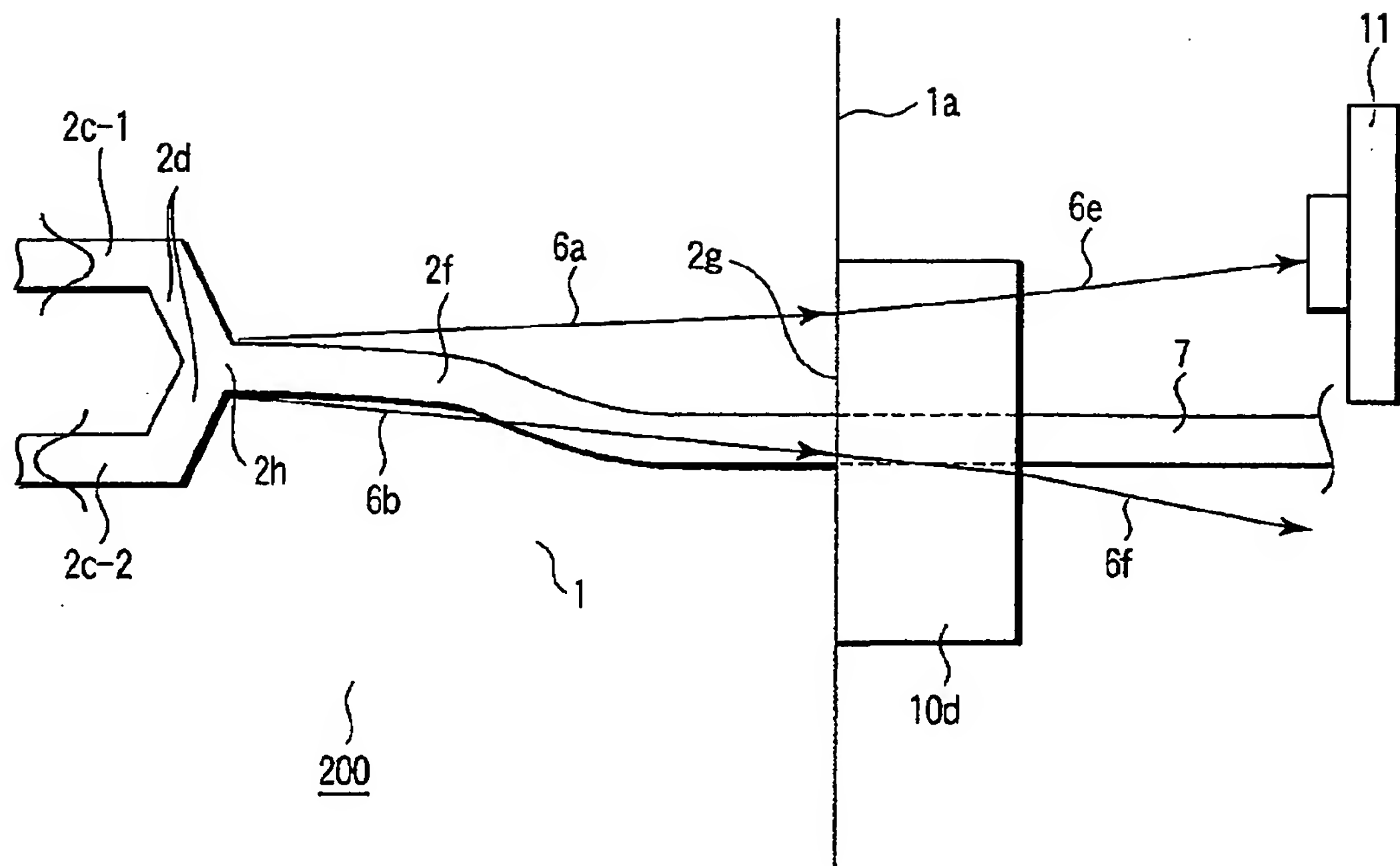
[図1]



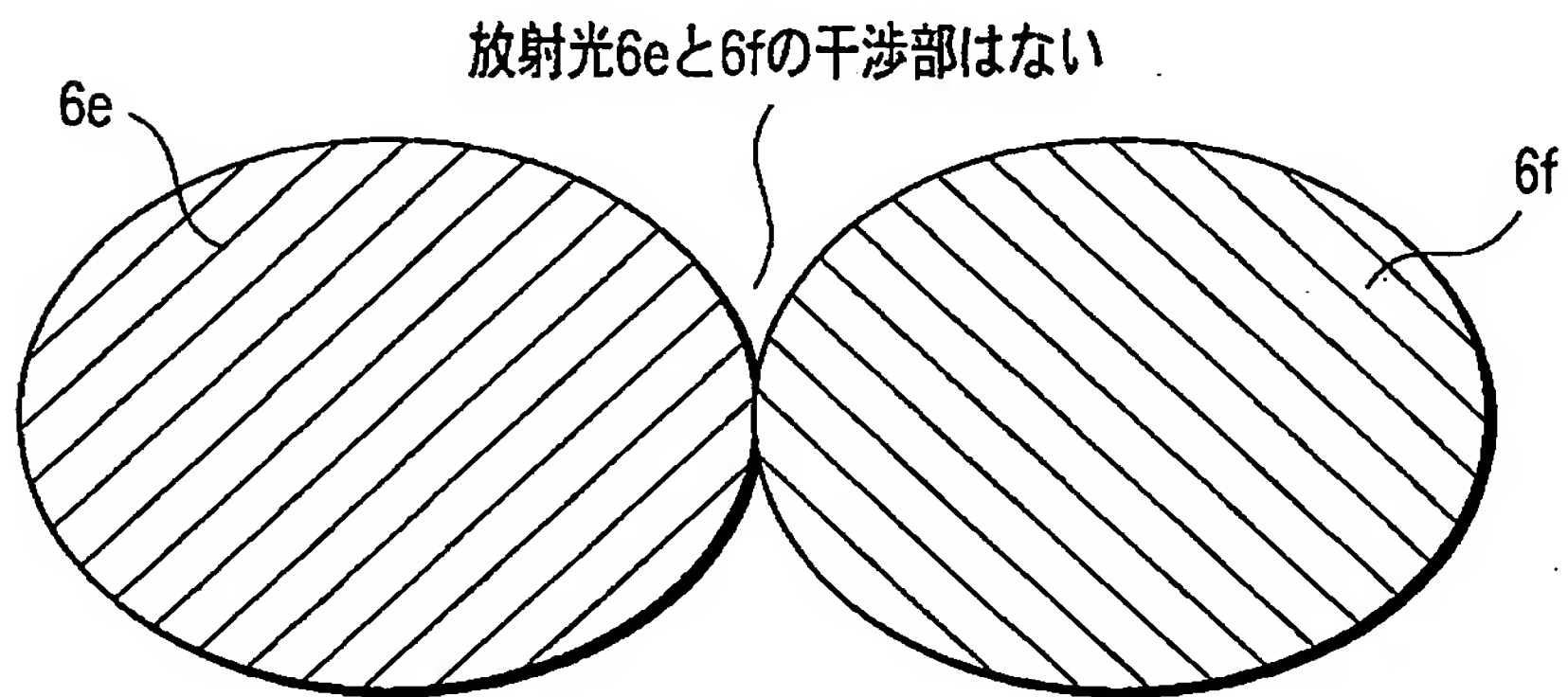
[図2]



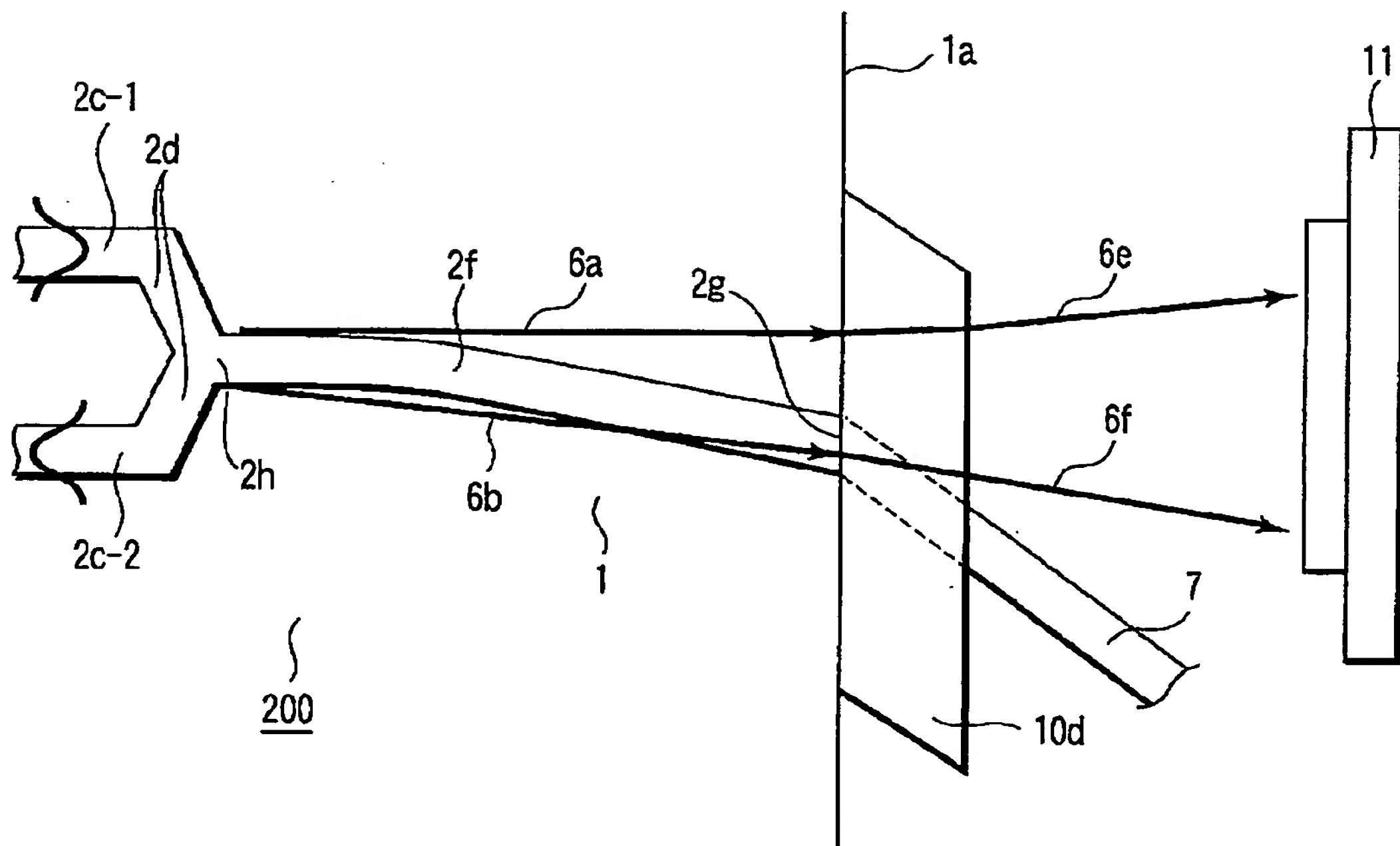
[図3]



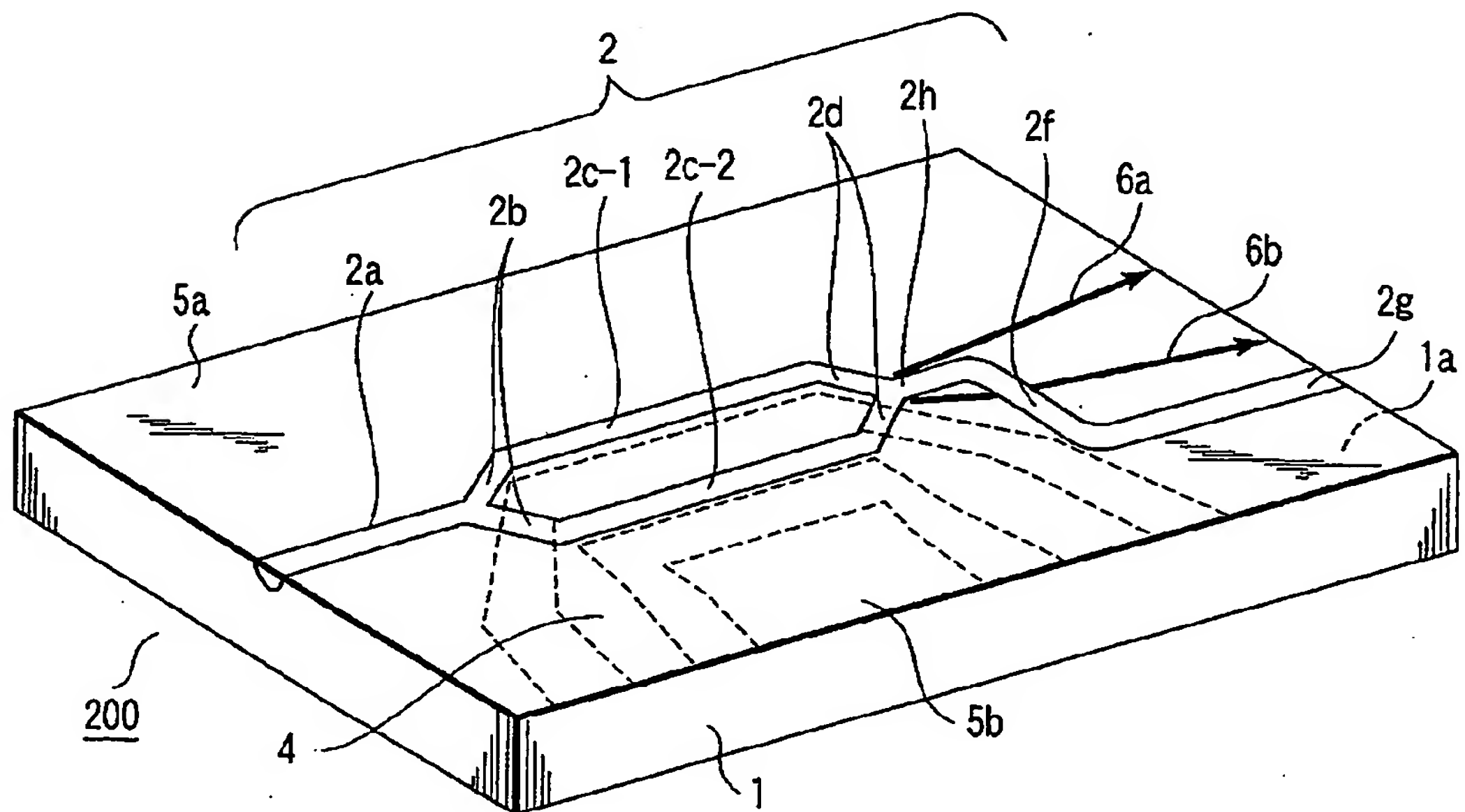
[図4]



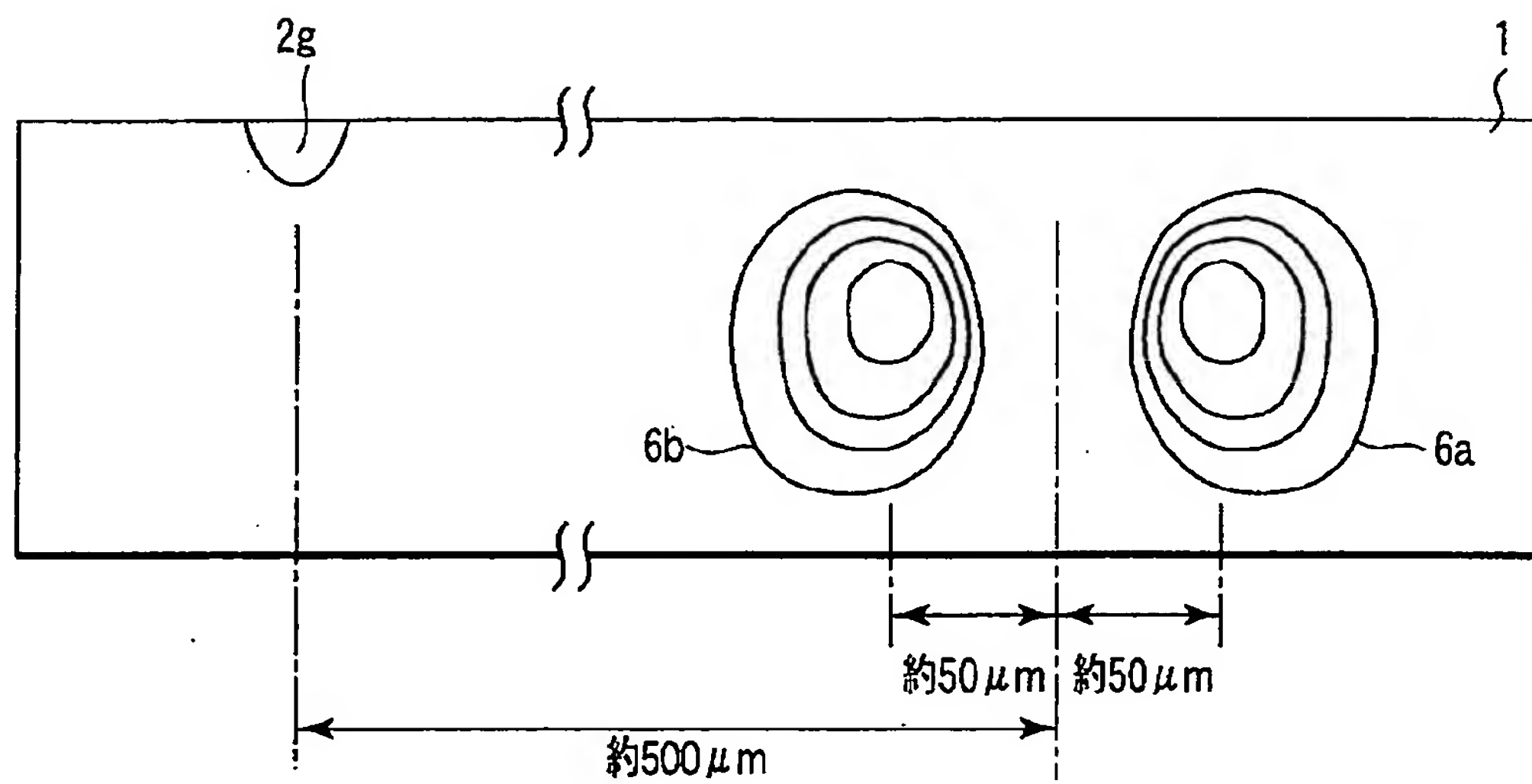
[図5]



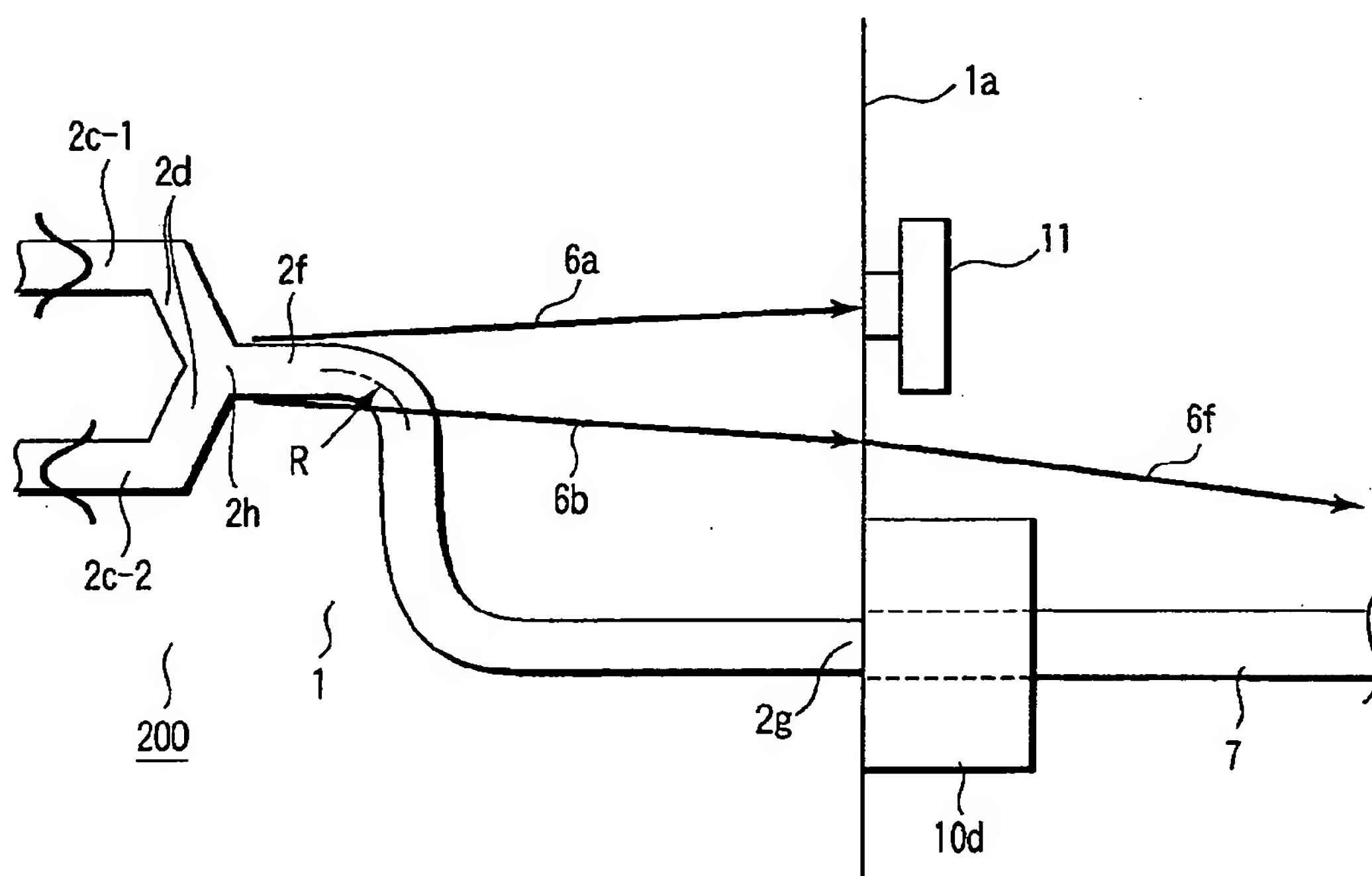
[図6]



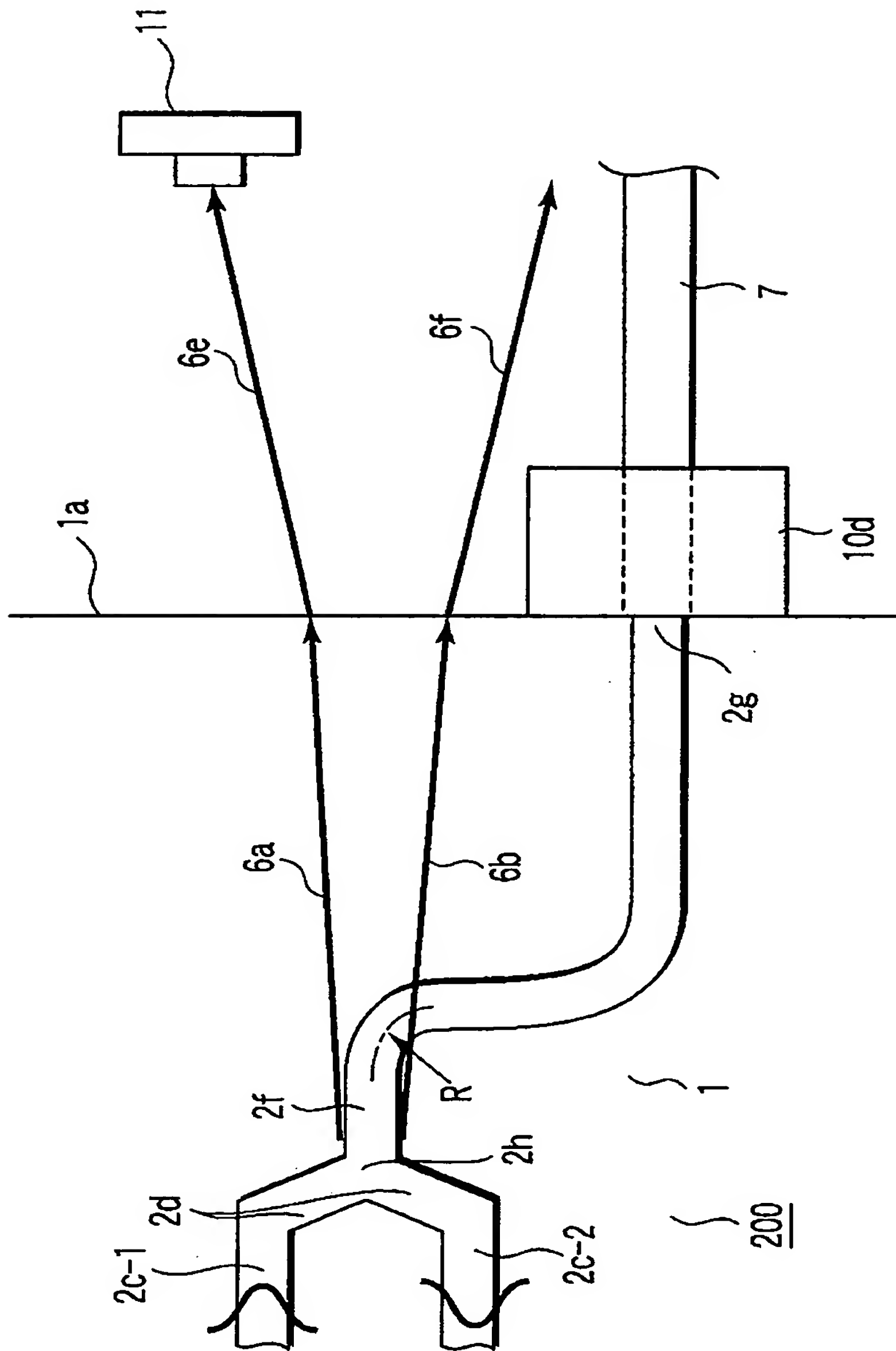
[図7]



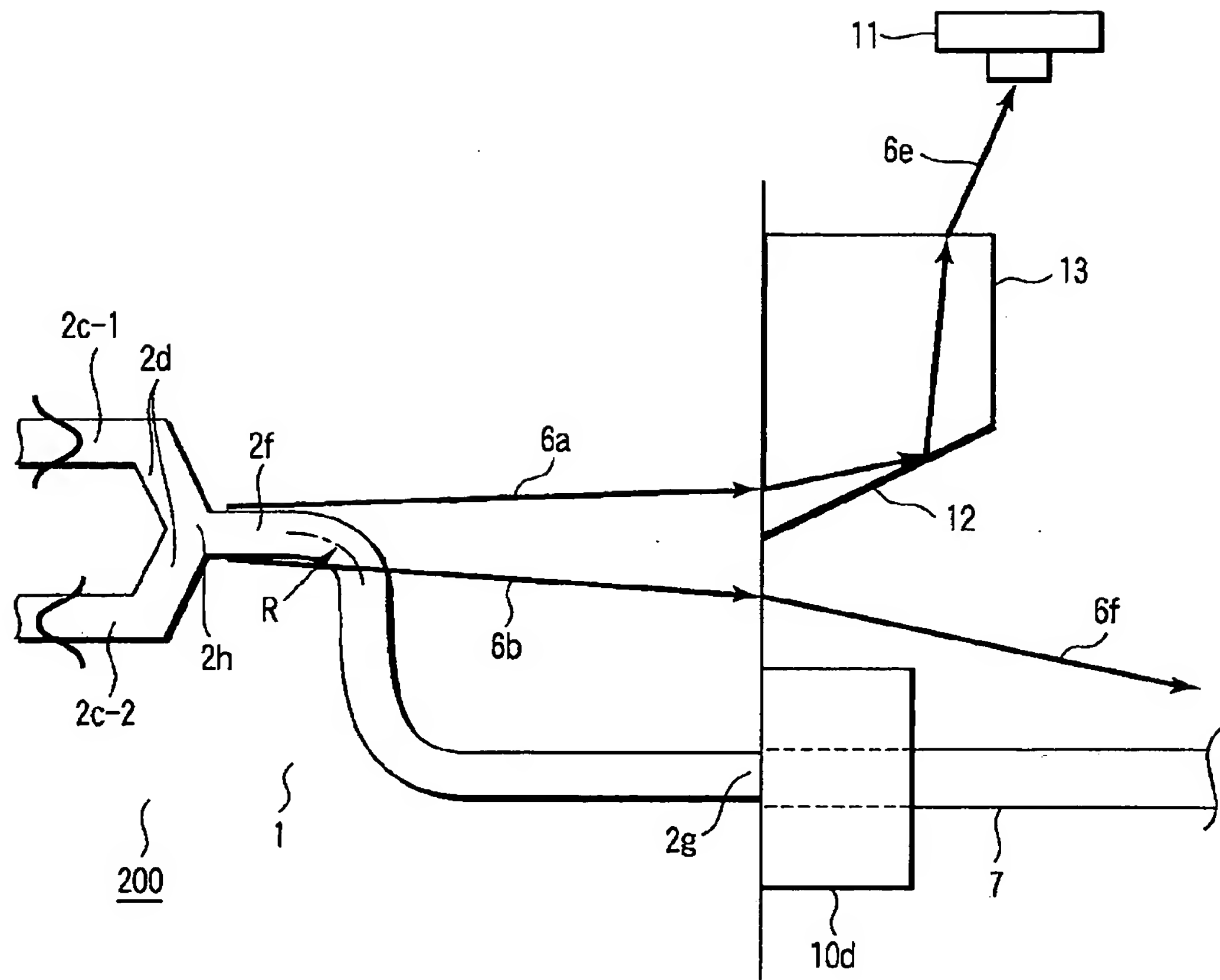
[図8]



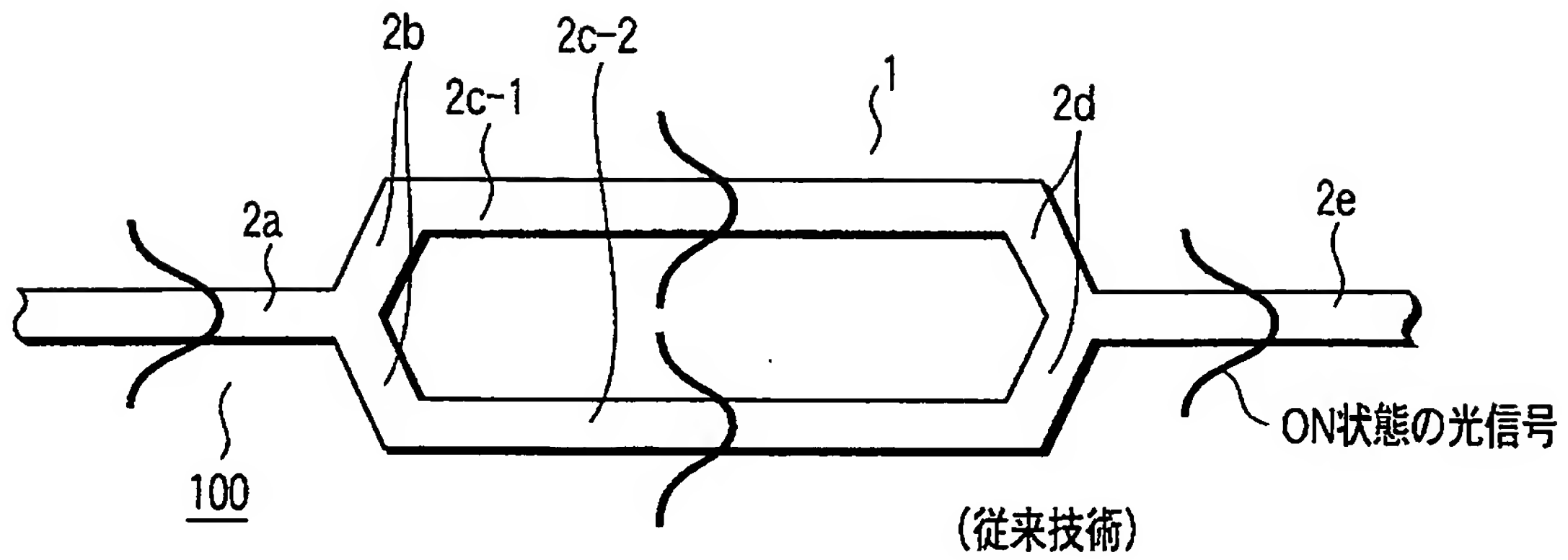
[図9]



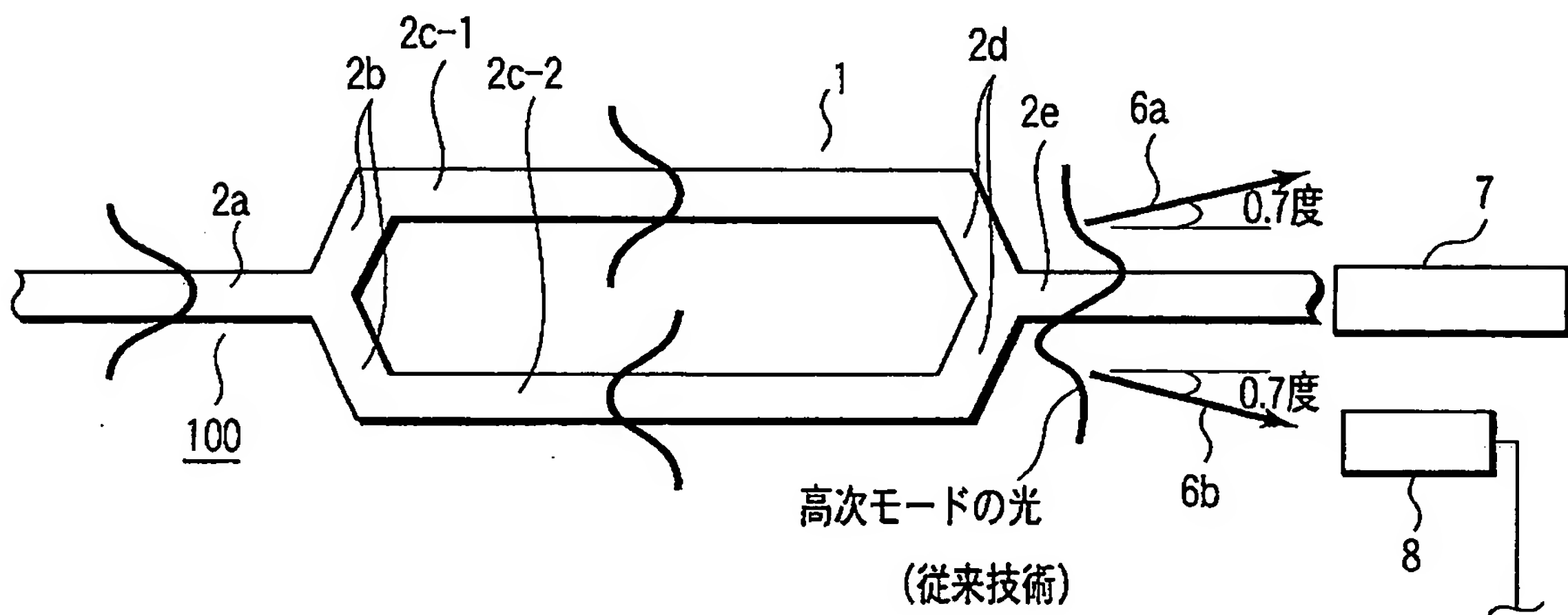
[図10]



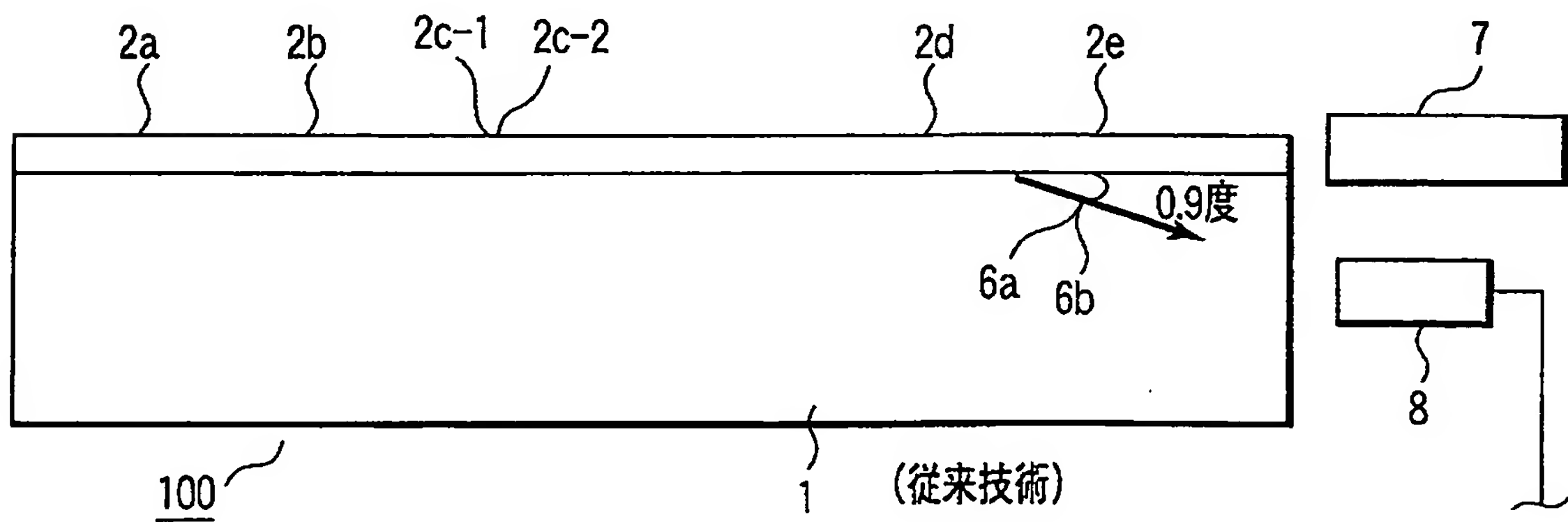
[図13A]



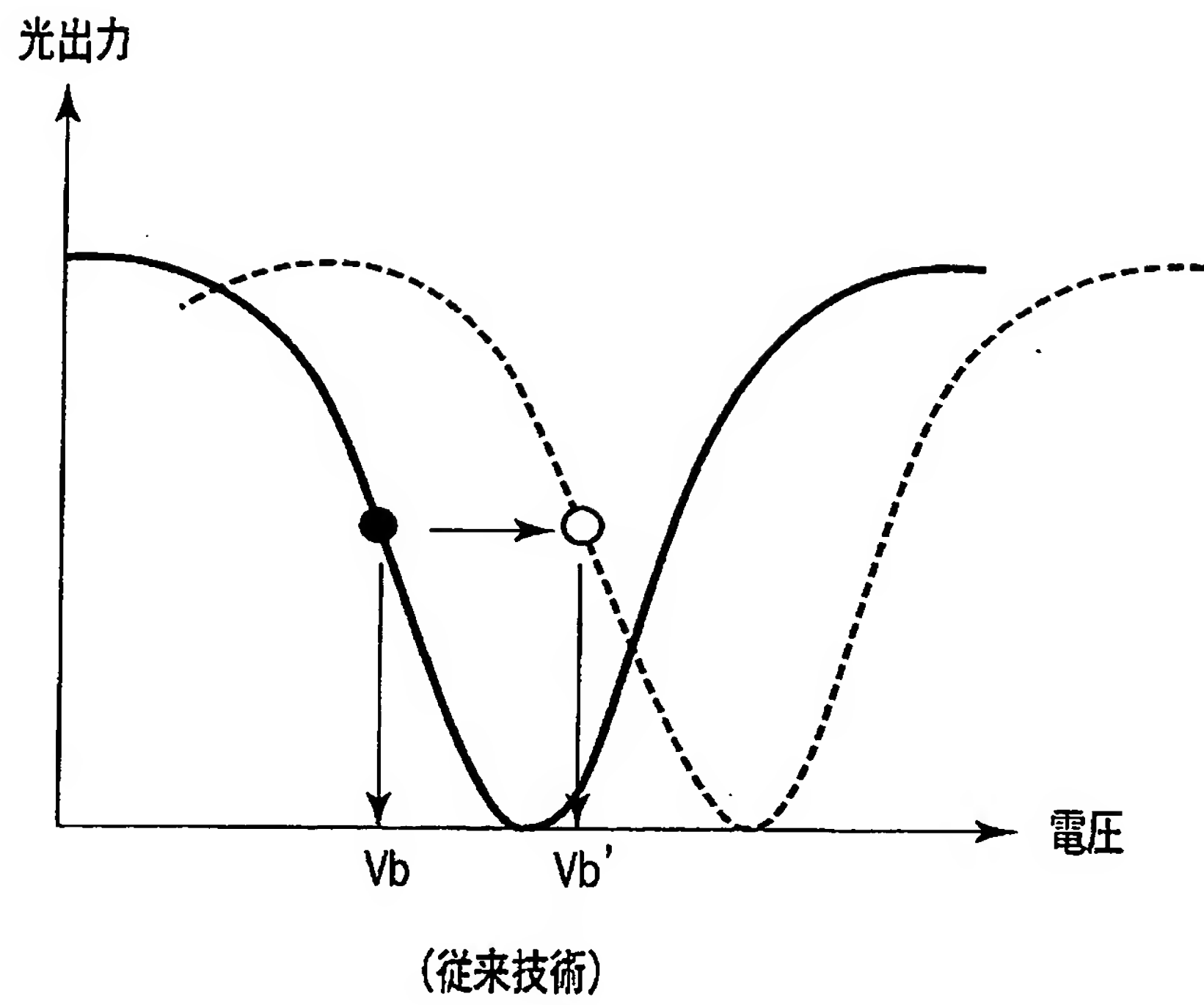
[図13B]



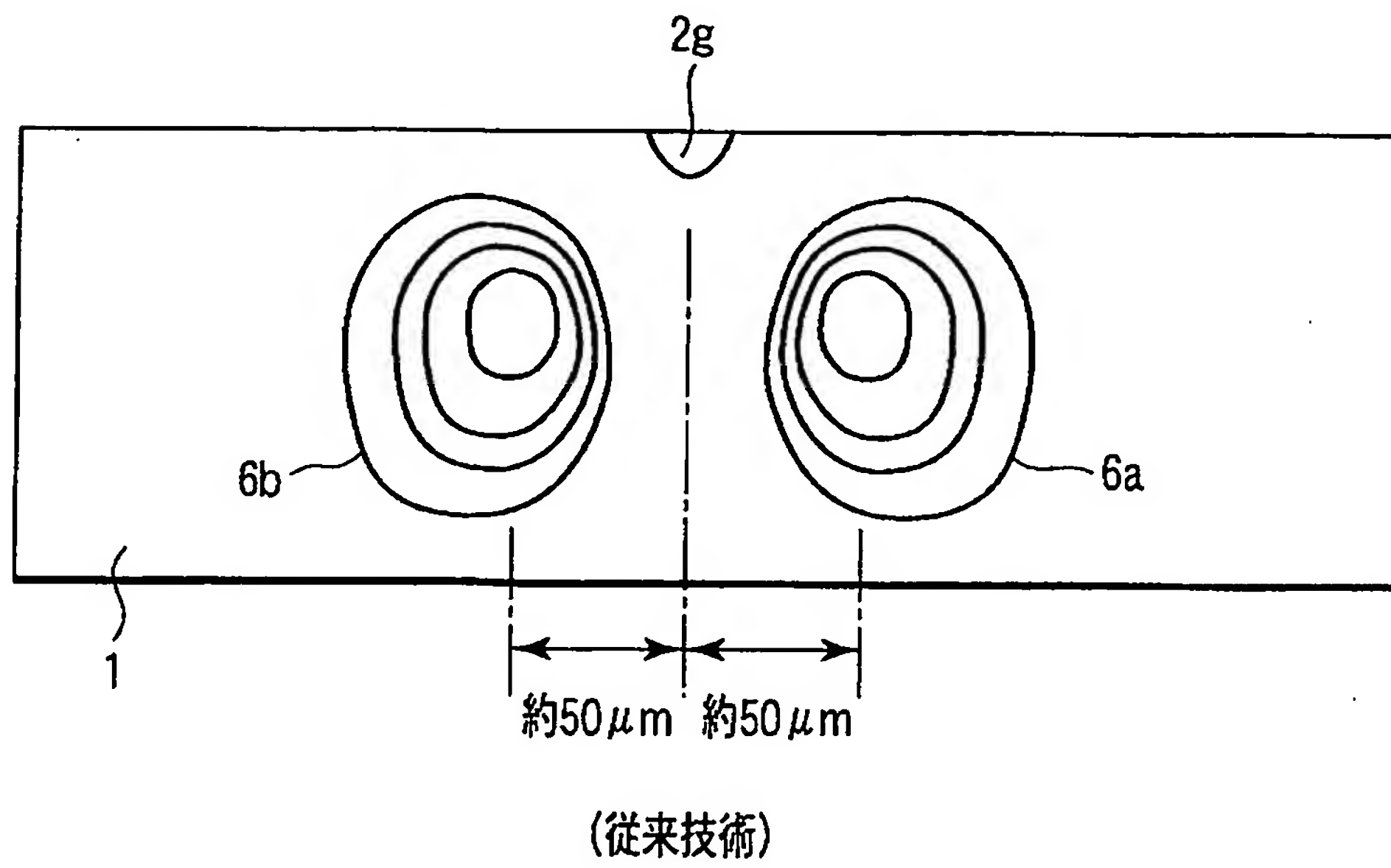
[図13C]



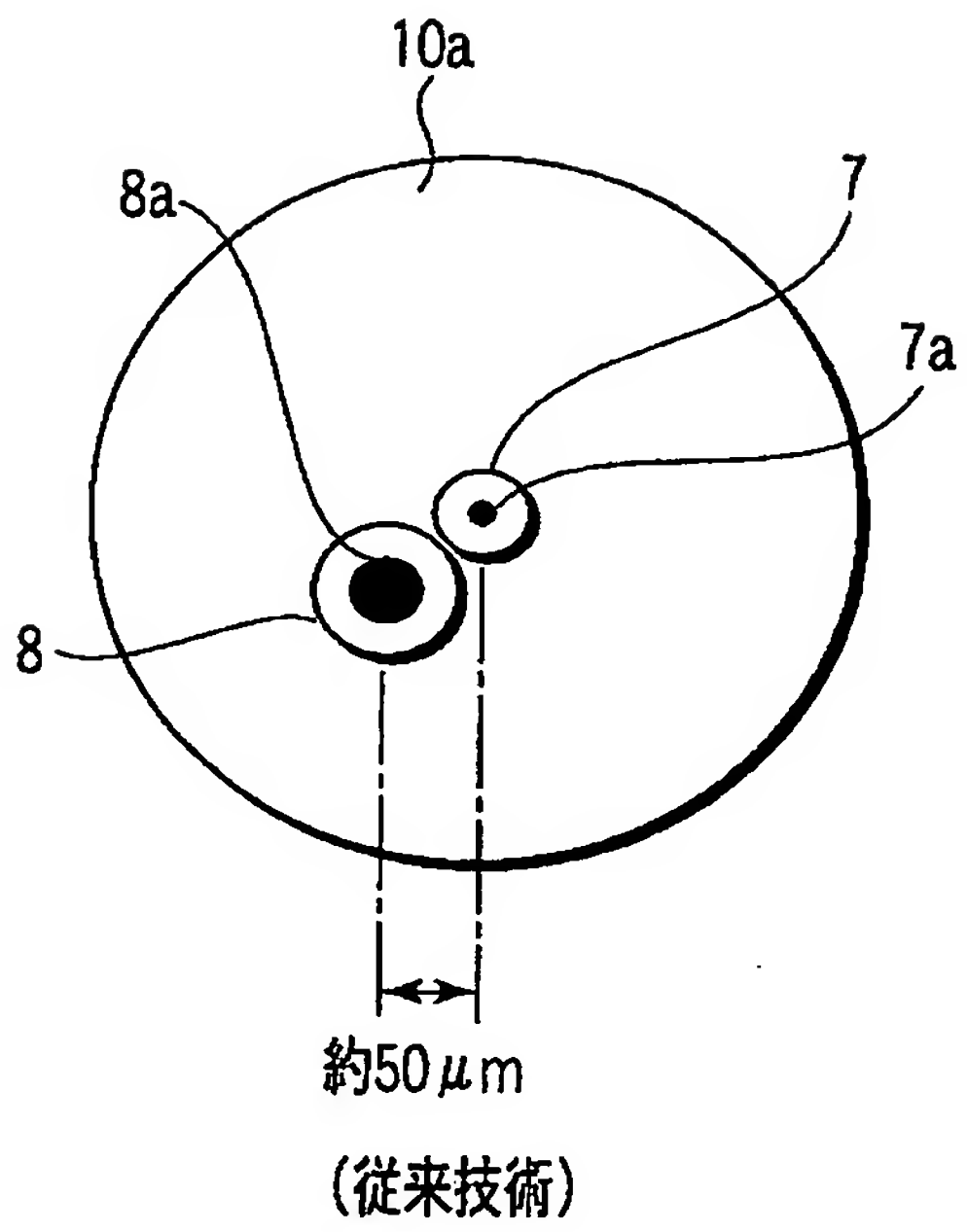
[図14]



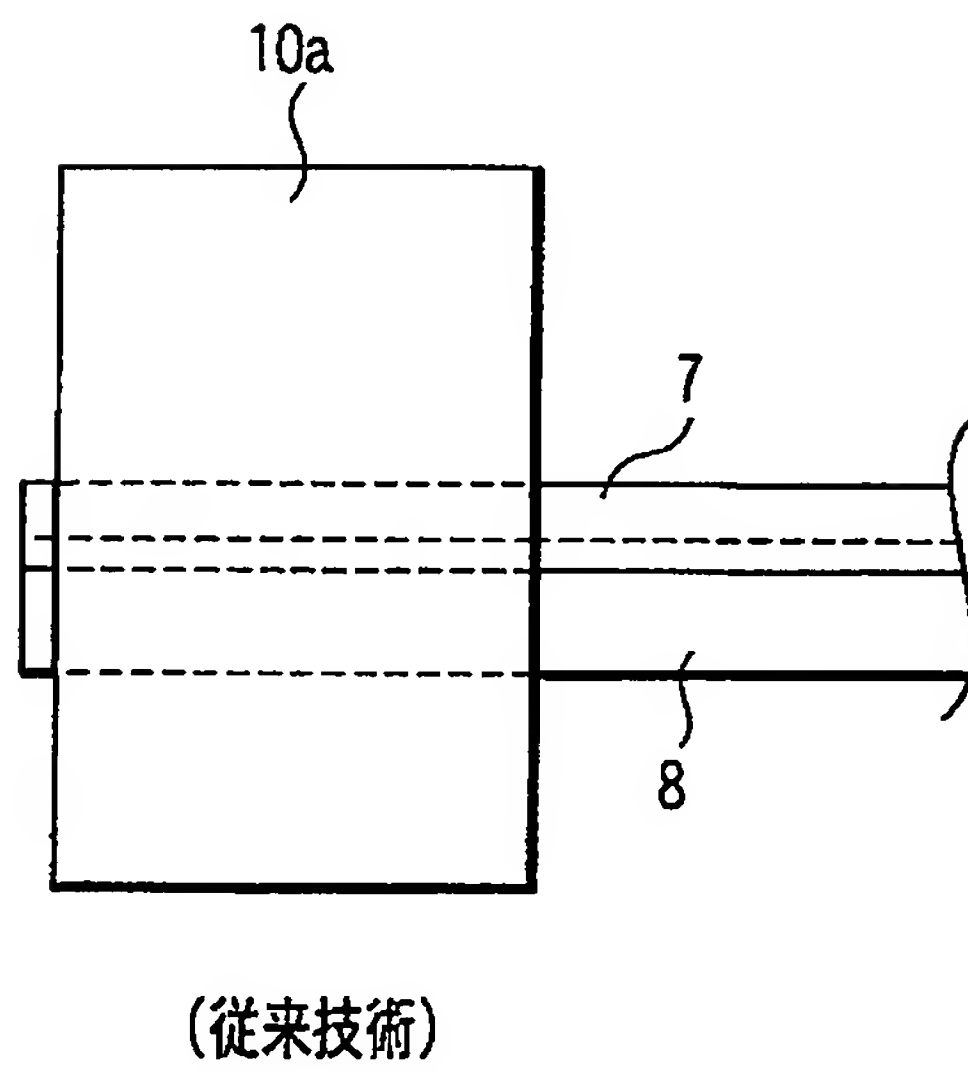
[図15]



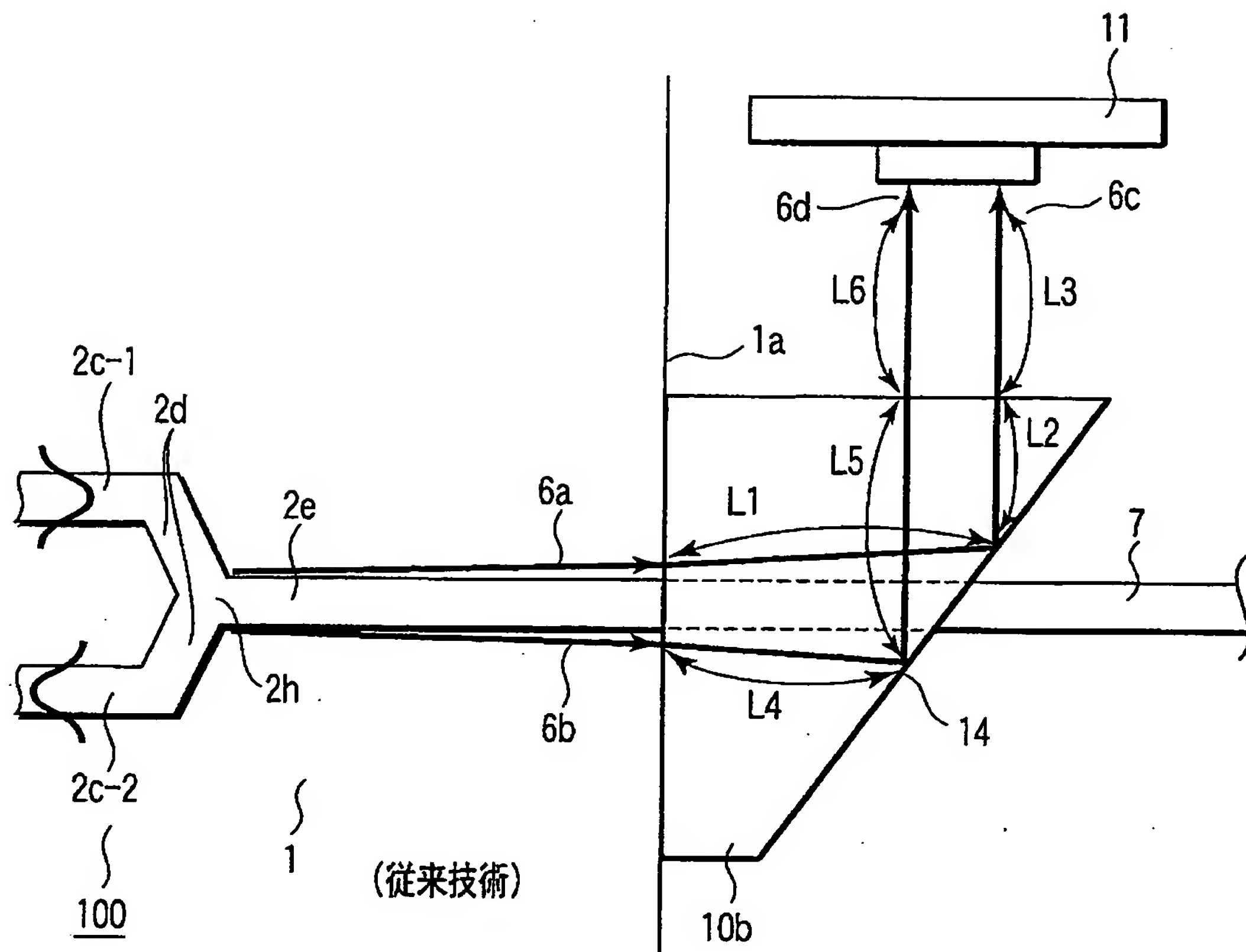
[図16A]



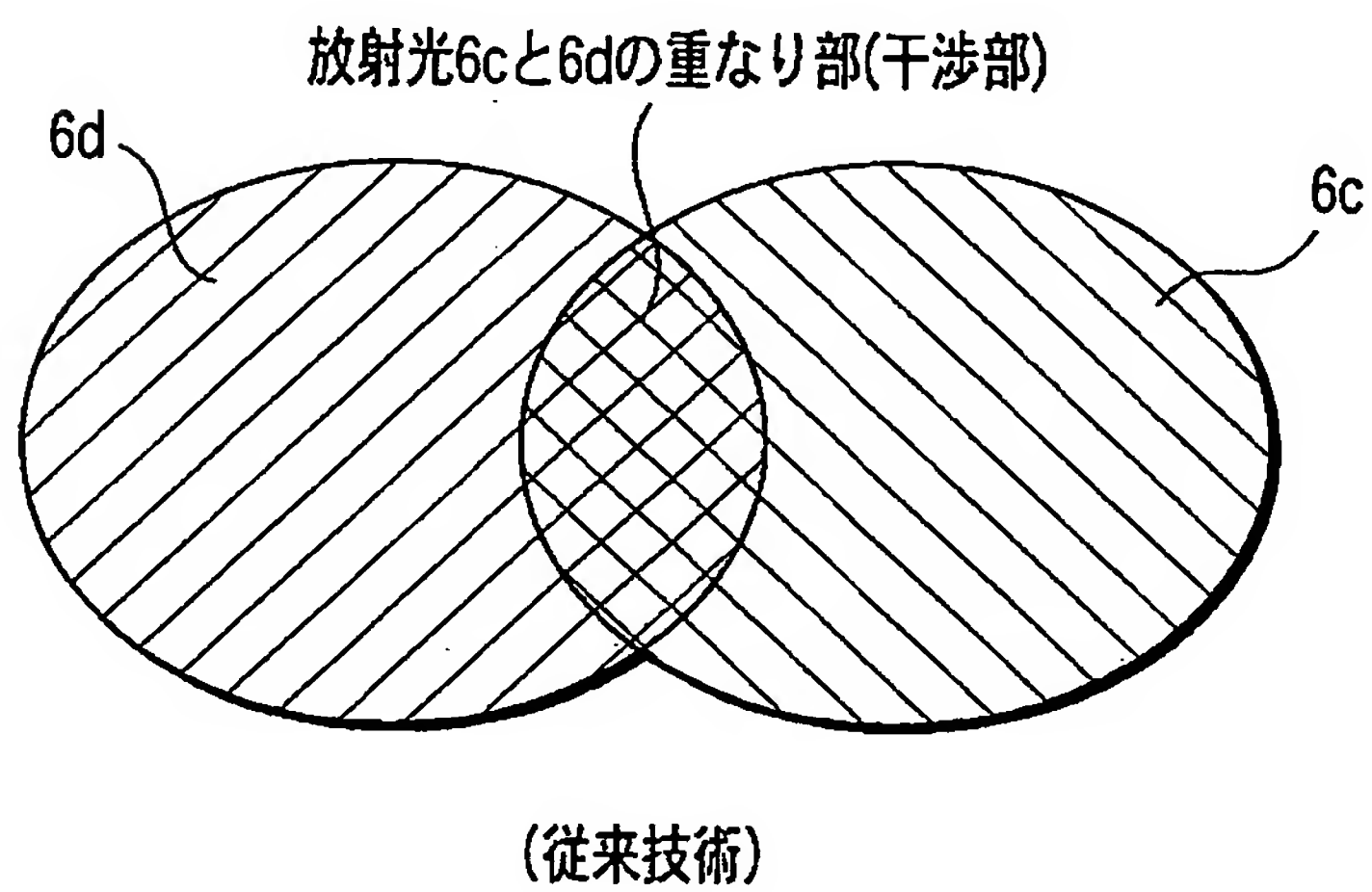
[図16B]



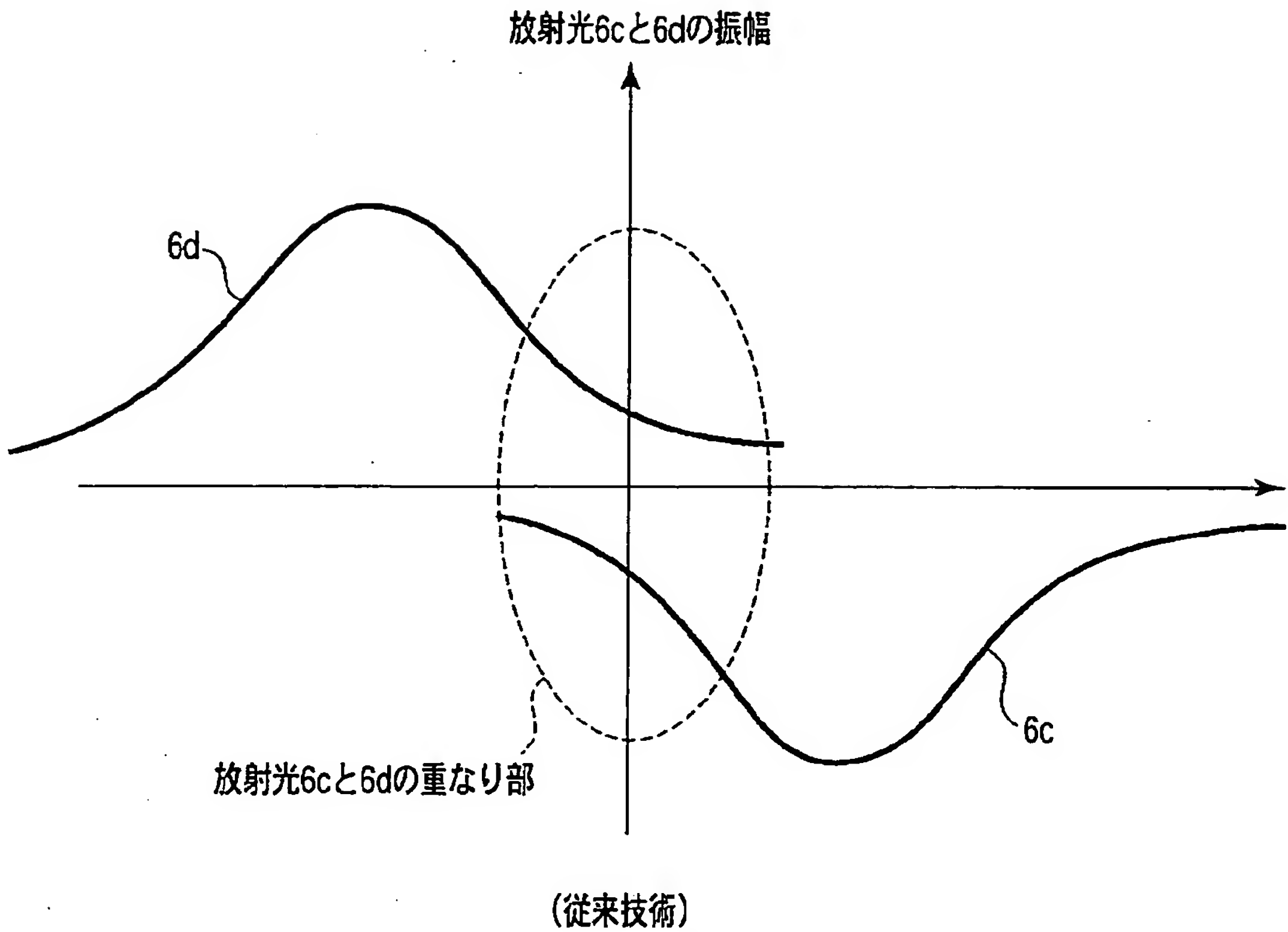
[図17]



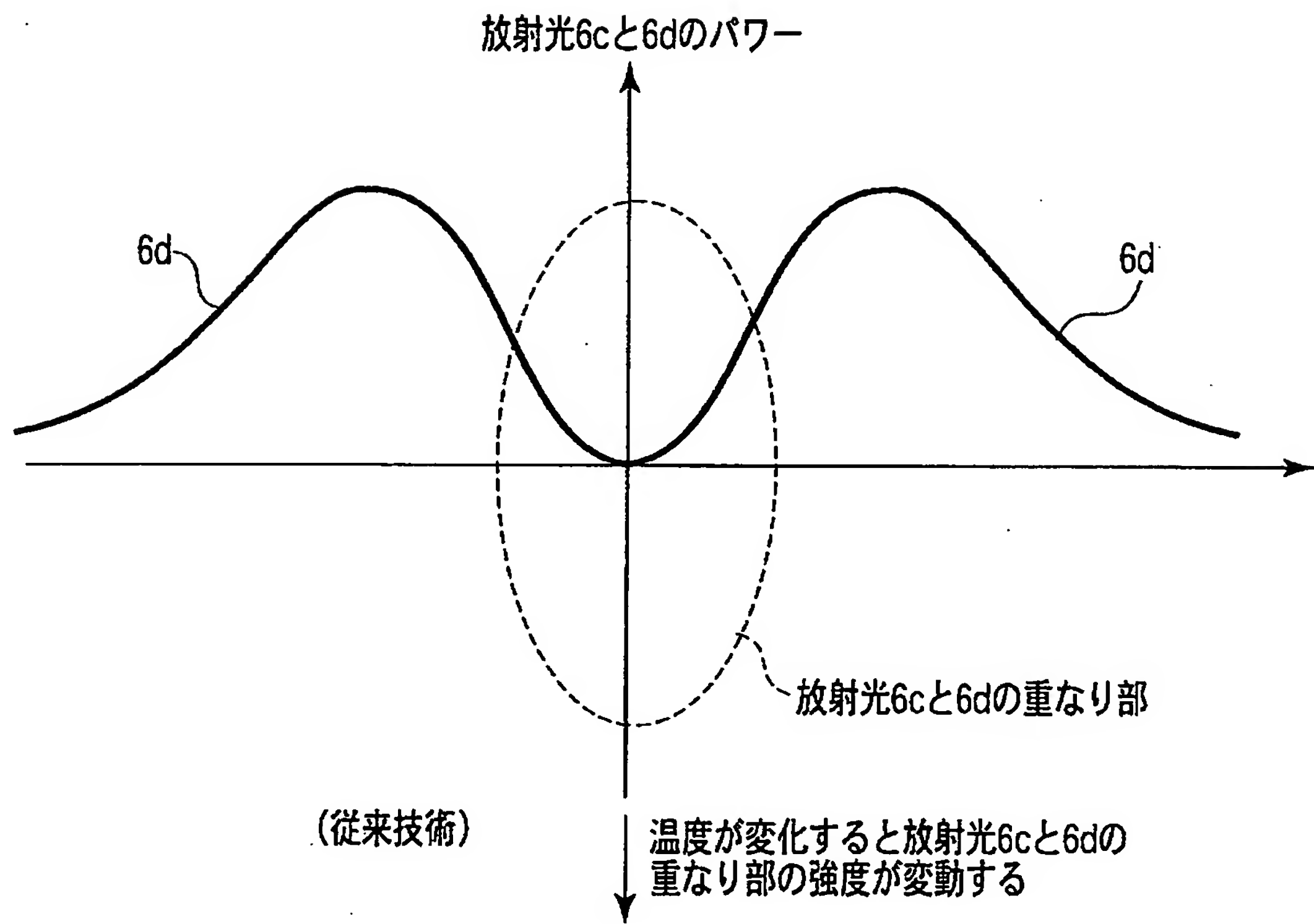
[図18]



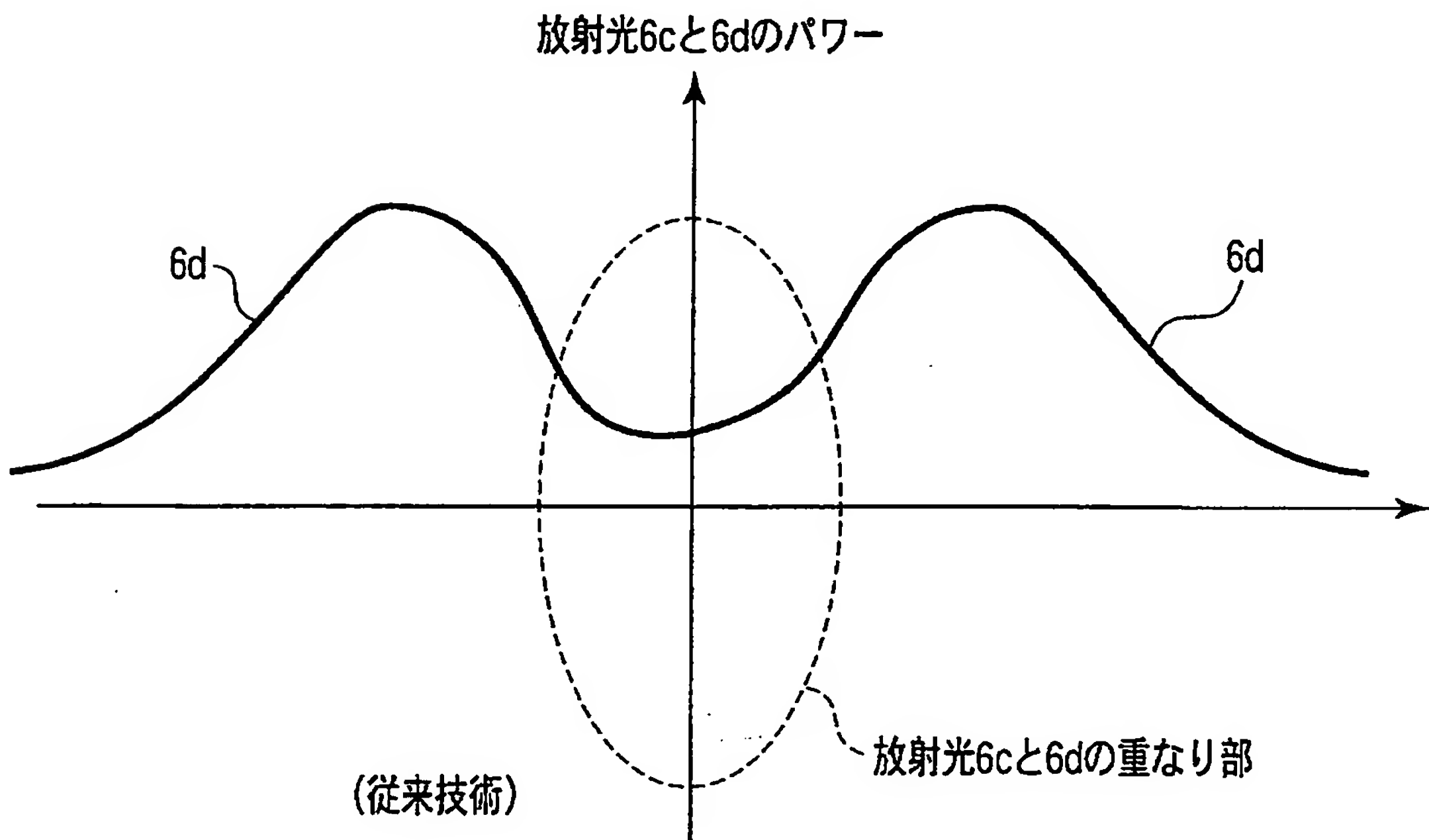
[図19]



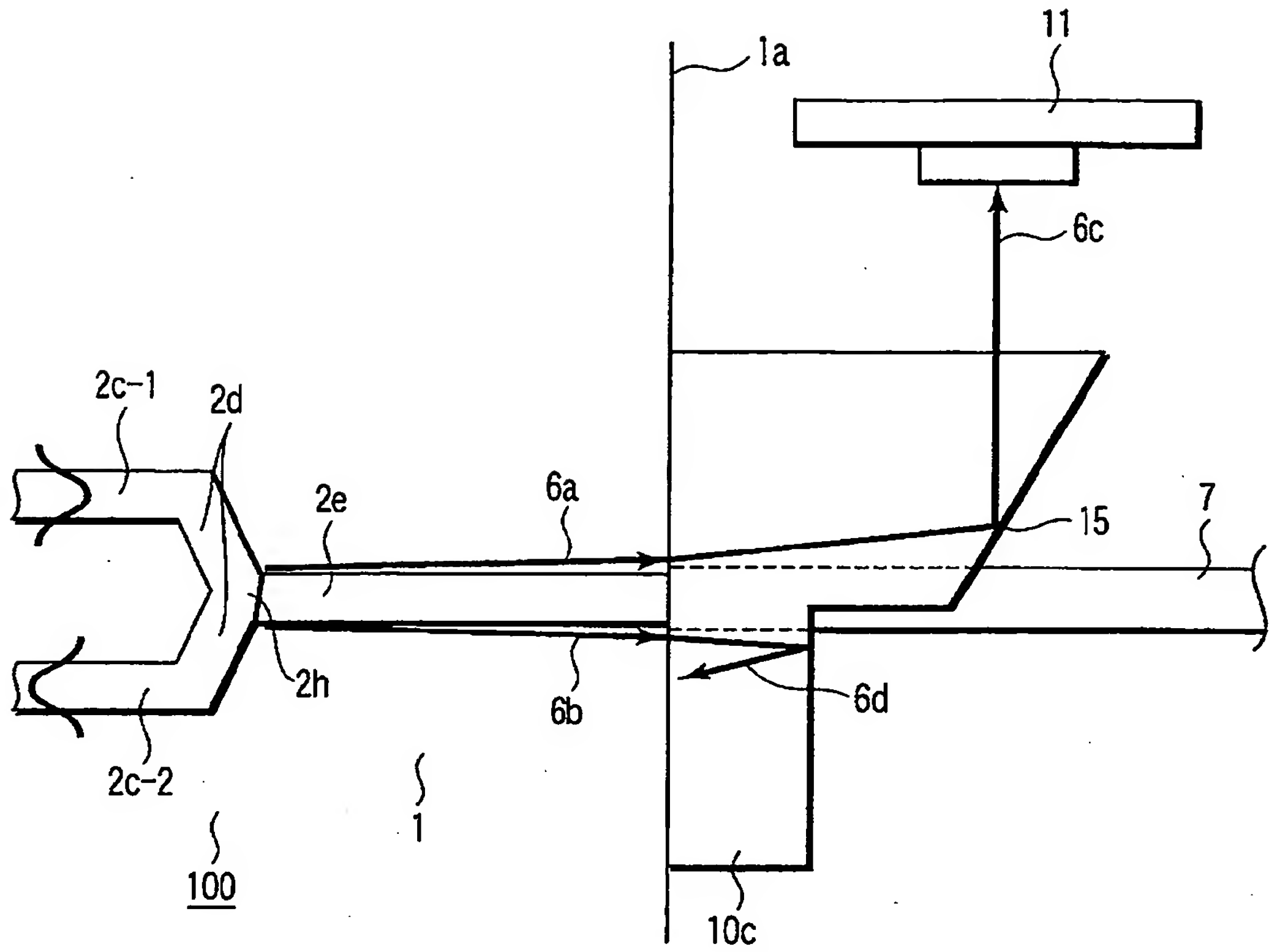
[図20A]



[図20B]



[図21]



(従来技術)

[図22]

